

П.Ф. Пістун, В.В. Добровольський

# Фізика

# 7



УДК 53 (075.3)

ББК 22.3я72

П75

Рецензенти:

професор, завідувач кафедрою фізики і методики навчання фізики,  
астрономії Вінницького державного педагогічного університету  
ім. М. Коцюбинського, доктор педагогічних наук

*Заболотний В.Ф.,*

вчитель фізики НВК «Лозівська ЗОШ І–ІІІ ст. – ДНЗ», вчитель-методист,  
методист фізики Тернопільського районного методичного кабінету

*Шемеля М.А.*

**Пістун П.Ф.**

П75      Фізика: підручник для 7 кл. загальноосвітн. навч. закл. / П.Ф. Пістун,  
В.В. Добровольський. — Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2015. —  
220 с : іл. + 1 електрон. опт. диск (CD). — Електрон. версія. — Режим до-  
ступу: <http://www.bohdan-digital.com/edu>.

ISBN 978-966-10-3356-5

Пропонований підручник відповідає чинній програмі з фізики для 7-го класу й передбачає готовність учнів до широкого і свідомого застосування фізики. Цю орієнтацію забезпечують зміст курсу, характер викладення навчального матеріалу, добір ілюстрацій і приклади застосувань, запитання для самоперевірки знань, завдання на повторення, а також завдання експериментального характеру та лабораторні роботи. Крім того, запропоновано роботу з комп'ютером з виконанням завдань, поданих в електронному додатку до підручника.

Для учнів і вчителів загальноосвітніх навчальних закладів.

УДК 53 (075.3)

ББК 22.3я72

Автори і видавництво висловлюють щирю подяку  
Н.Є. Важевській та Н.С. Пуришевій, а також видавництву «Дрофа»  
за надані матеріали, підтримку і сприяння у реалізації проекту.

*Охороняється законом про авторське право.*



*Жодна частина цього видання не може бути відтворена  
в будь-якому вигляді без дозволу автора чи видавництва*

© Пістун П.Ф., Добровольський В.В., 2015

© Навчальна книга – Богдан,  
оригінал-макет, 2015

© Дрофа, 2012

ISBN 978-966-10-3356-5

Піктограмами  і  у підручнику позначено ті його складові, які можна відкрити у pdf-файлі або скориставшись CD, що входить у комплект.

У зв'язку з великим обсягом електронної складової підручника у pdf-файлі активною є тільки її частина. Для завантаження всіх матеріалів треба перейти за посиланням:

<http://www.bohdan-digital.com/edu>.

# ДОРОГІ ДРУЗІ!

Ви розпочинаєте вивчення нового для вас предмета — фізики. Фізика — це цікава наука про природу. Одним з основних методів вивчення природних явищ у фізиці є експеримент. І для вас експеримент буде одним із джерел знань. Ви будете спостерігати досліди, які проводить учитель, а також самостійно виконуватимете експериментальні завдання під час виконання лабораторних робіт на уроках і деяких завдань удома.

Іншим джерелом знань для вас буде цей підручник. Нові терміни, визначення, формули в тексті виділені **жирним** шрифтом. Їх потрібно запам'ятати. Після того, як ви прочитаєте параграф, постарайтесь його переказати і відповісти на запитання для самоперевірки. Читаючи підручник, звертайте увагу на наведені в ньому рисунки, які ілюструють викладений матеріал. Співставляйте рисунок і його описання в підручнику, це допоможе вам краще зрозуміти написане.

Щоби переконатися у тому, що ви зрозуміли матеріал, виконайте завдання, поміщені після параграфів. Деякі з них являються запитаннями, відповідаючи на які потрібно пояснити відповідне явище або процес.

Інші завдання сформульовані у вигляді задач, при розв'язуванні яких потрібно визначити ту чи іншу фізичну величину, використавши відповідні закони і формули.

Зустрічаються також і графічні задачі, в яких треба виконати обчислення і побудувати графік або з поданого графіка отримати певну інформацію.

Є завдання експериментального характеру, виконання яких передбачає проведення дослідів і спостережень. Такі завдання позначені індексом «е» (експеримент).

Задачі підвищеної складності, а також параграфи, обсяг матеріалу яких дещо виходить за межі діючої програми з фізики, помічені зірочкою. До деяких задач у кінці підручника наведені відповіді.

Бажаємо вам успіхів у роботі.

*Автори*



# Розділ I

## ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

Розпочинаючи вивчення основ фізики, перш за все потрібно отримати відповіді на наступні запитання: що таке фізика? Яку область дійсності вона вивчає? Якими методами вона при цьому користується? Про це та інше, що стосується основ фізики, йтиметься у цьому розділі.

### §1. Що вивчає фізика

- ✓ Що називають явищами природи?
- ✓ Які явища природи вам відомі?

**1** Природа — це все те, що нас оточує: повітря, земля, вода, тварини, зорі, планети та ін. Людина живе серед природи і сама є її частиною.

У природі відбуваються різні зміни. Наприклад, змінюють одне одного пори року, день і ніч; змінюють своє положення Сонце, Місяць і зорі відносно Землі і т.д. (рис. 1). Влітку під час грози часто спалахує блискавка (рис. 2) і гримить грім; іноді після дощу можна побачити веселку, пару, що піднімається від землі або асфальту, які висихають. Весною розпускаються на деревах бруньки, восени на них жовтіє листя. У деяких місцевостях час від часу можна побачити виверження вулканів.

Зміни, які постійно відбуваються навколо нас, називаються **явищами природи**.

**2** Унаслідок вивчення людиною навколишнього світу виникла наука, яка об'єднала усі отримані знання. Потім, у міру відкриття все нових і нових



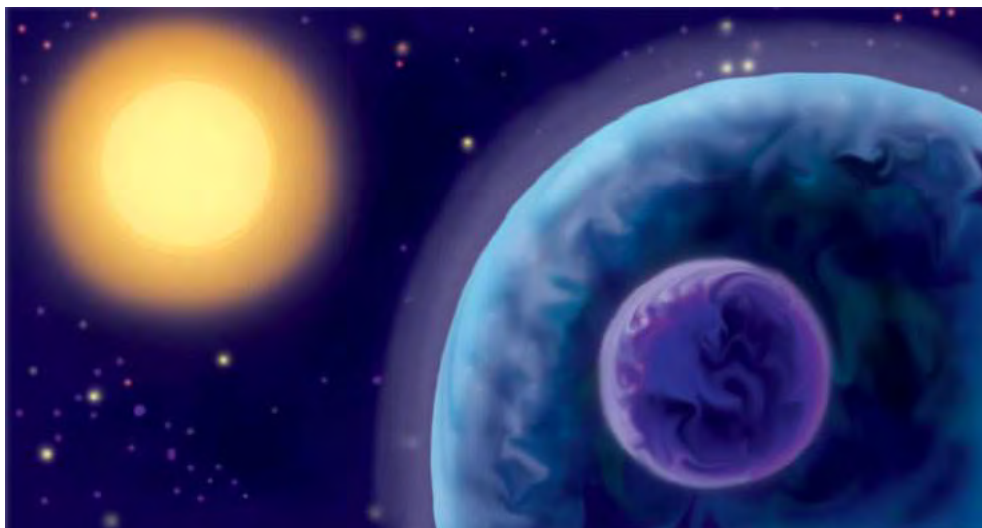


Рис. 1

явищ, виділилися окремі науки, що вивчали групи близьких за своєю сутністю явищ. Так з'явилися географія, біологія, хімія, фізика, астрономія та інші.

Однією з основних наук про природу є **фізика**. Слово «фізика» походить від грецького слова «фюзіс», яке у перекладі з грецької означає «природа».

Це слово вперше з'явилося у працях давньогрецького вченого Аристотеля.

**3** Що вивчає фізика? Фізика вивчає явища природи, а саме, *фізичні явища*. Прикладами фізичних явищ можуть бути: рух автомобіля, замерзання води, світіння лампочки, притягання магнітом деяких металічних предметів та ін. Фізичні явища дуже різноманітні. До них належать механічні, теплові, електричні, магнітні, світлові та звукові явища.



Рис. 2

У природі існують й інші явища — *нефізичні*. Вам добре відомі *біологічні* явища (ріст рослин, тварин та ін.), *геологічні* (зміни в земній корі, землетруси та ін.), *хімічні* (горіння газу, окислення металів, утворення хлорофілу в листках рослин тощо).

Фізичні явища відбуваються з різними об'єктами. У наведених вище прикладах ними є автомобіль, нитка розжарення електричної лампочки. Ці об'єкти називаються **фізичними тілами** або просто тілами.

Тіла складаються з **речовини**. Наприклад, скло — речовина, а склянка — фізичне тіло; вода — речовина, а крапля води — фізичне тіло.

**Речовина** є одним із видів матерії. **Матерія** — це все те, що існує об'єктивно, тобто незалежно від нашої свідомості. Іншим видом матерії є різні фізичні поля: електричне, магнітне та ін. Навколишній світ *матеріальний*.

Фізика, крім явищ природи, вивчає властивості тіл і речовин, фізичні поля. Адже дуже важливо знати, які речовини проводять електричний струм, а які — не проводять; якою речовиною потрібно покрити фотоплівку для того, щоб на ній можна було отримати зображення; яку речовину краще використати для теплоізоляції, тощо. Отже, **фізика — наука про природу, яка вивчає фізичні явища і поля, а також властивості речовин**.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають явищами природи? Наведіть приклади явищ природи.
2. Наведіть приклади фізичних явищ. Які з них є прикладами механічних, теплових, електричних, магнітних, звукових, світлових явищ?
3. Наведіть приклади фізичних тіл. Назвіть речовини, з яких вони складаються.
4. Назвіть два види матерії.
5. Що вивчає фізика?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку до підручника.

### §2. Як вивчають явища природи

✓ Які прилади використовують при вивченні явищ природи?

**1** З'ясуємо, як люди отримують знання про природу. Так, розвиток астрономії розпочався зі спостережень за зоряним небом (рис. 3). Ви добре знаєте, що в ботаніці спостереження за розвитком рослин дають змогу встановити закономірності їхнього розвитку. Спостереження широко використовуються і в інших науках, у тому числі і в фізиці.

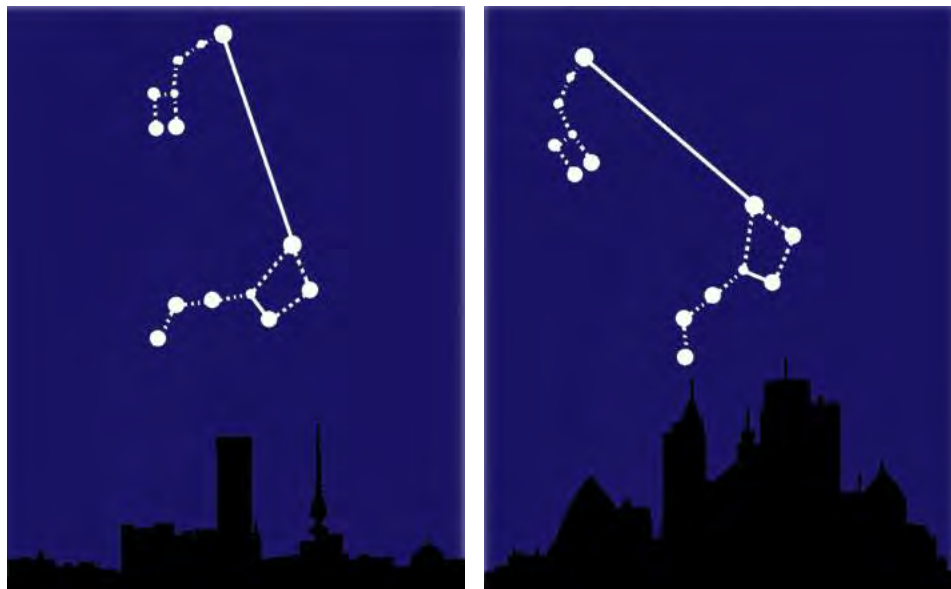


Рис. 3

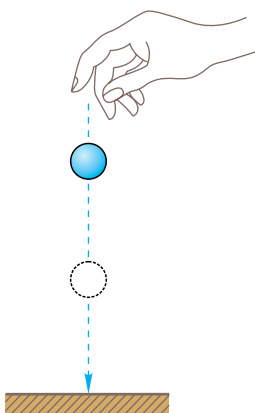


Рис. 4



Рис. 5

Спостереження за явищами, які відбуваються в навколишньому світі, дали змогу встановити, що усі тіла падають на Землю (рис. 4), вода у чайнику закипає при певній температурі, що від усіх предметів у сонячний день утворюється тінь (рис. 5).

Отже, вивчення будь-якого явища розпочинається з його **спостереження**.

**2** У процесі проведення спостережень за явищами природи отримуються певні відомості про них. Ці відомості можуть бути різними залежно від знань людини, її уміння описувати явища, фіксувати зміни, що відбуваються, тощо. Розглянемо, наприклад, таке просте явище, як рух автомобіля. Одна людина скаже, що автомобіль рухався, змінював своє положення відносно будинків. Друга скаже, що автомобіль рухався і його швидкість змінювалася. Третя зазначить, що швидкість автомобіля то збільшувалася, то зменшувалася.

Отже, під час спостережень за явищами необхідно отримати якомога більше інформації і виділити їхні особливості.

**3** Отримавши за час проведення спостережень певні дані про явища, вчені прагнуть з'ясувати, як ці явища відбуваються і головне — чому.

Щоб відповісти на ці запитання, зазвичай висувається припущення, або *гіпотеза*. Причому може висуватися не одна, а декілька гіпотез. Для перевірки гіпотези проводять спеціальні досліді — *експерименти*.

Гіпотези, які не знаходять підтвердження в експериментах, вважаються хибними і відкидаються. Гіпотези, що підтверджуються експериментами, приймаються і стають науковими знаннями.



Наприклад, італійський анатом **Луїджі Гальвані** (1737–1798), препаруючи жаб, виявив, що при дотиканні тканин жаб до металічних предметів їхні м'язи скорочуються. Проте цей ефект спостерігався не завжди. Гальвані припустив, що скорочення м'язів відбувається тоді, коли лапка жаби доторкується до двох різних металів. Щоб перевірити цю гіпотезу, вчений провів ряд дослідів, у ході яких вивчив явище, виявив його причину і підтвердив свою гіпотезу. Таким чином, при проведенні експерименту не тільки ставиться певна мета, але, на відміну від спостереження, використовується спеціальне обладнання і прилади.



Луїджі Гальвані

Під час проведення експерименту вчені змінюють умови перебігу явищ. Це дає змогу всебічно вивчити явище. Так, Гальвані з'єднував лапки жаби одним провідником і використовував для цього провідники з різних матеріалів. Потім він з'єднував лапки за допомогою двох провідників; ці досліді проводилися на вулиці і в приміщенні. Учений дійшов висновку, що м'язи скорочуються завжди, коли лапки контактували з двома різними металами, а місце проведення експерименту не впливало на його результат.

Отже, послідовність вивчення явищ наступна:

**спостереження — гіпотеза — експеримент — висновок.**

**4** Для проведення експерименту використовують фізичні прилади. Деякі з них дуже прості. Наприклад, лінійка, висок (тягарець, підвішений на нитці), який дає змогу перевірити, наприклад, вертикальність стін (рис. 6), ваги та ін.

Використовують і складніші прилади, з якими вам доведеться працювати. До них

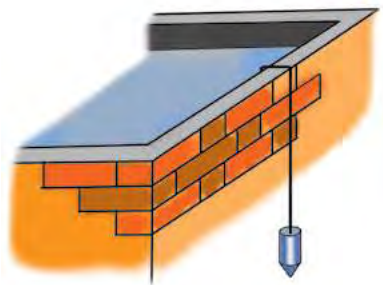


Рис. 6

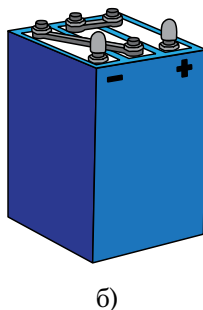
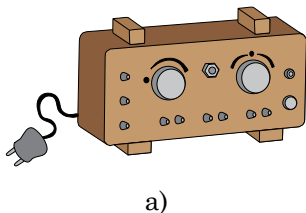


Рис. 7

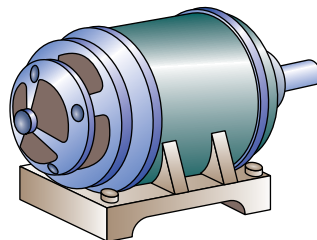


Рис. 8

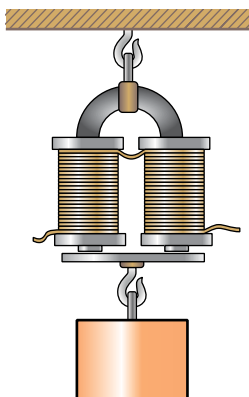


Рис. 9

належать джерела струму (рис. 7), електричний двигун (рис. 8), електромагніт (рис. 9) та ін.

Під час проведення наукових експериментів використовуються дуже складні прилади та установки (прискорювачі заряджених частинок, осцилографи, електронні мікроскопи та ін.).



## Запитання для самоперевірки

1. Чим відрізняються спостереження від експерименту? Що між ними спільного?
2. Наведіть приклад наукового експерименту.
3. В якій послідовності вивчаються явища природи? Відповідь проілюструйте прикладом.
4. Наведіть приклади фізичних приладів, не вказаних у параграфі підручника.



## Завдання 1.

Проведіть наступний експеримент удома. Поставте на плиту невелику каструлю з водою. Опишіть свої спостереження за нагріванням води. Якщо ви маєте відповідний термометр для вимірювання температури води, опустіть його у воду і слідкуйте за його показами. *Медичним термометром користуватися не можна.*

*Будьте обережними!* Не доводьте воду до кипіння, не доторкайтеся до нагрітої каструлі, не переверніть її.

### §3. Зв'язок фізики з іншими науками

- ✓ Назвіть відомі вам технічні пристрої.
- ✓ Які фізичні явища лежать в основі їхньої роботи?
- ✓ Які наукові відкриття у фізиці вам відомі?

**1** Час, в якому ми живемо, характеризується бурхливим розвитком фізики і швидким упровадженням її досягнень у техніку, промисловість, сільське господарство і побут. З іншого боку, досягнення техніки впливають на розвиток науки.

Робота різних технічних пристроїв ґрунтується на використанні фізичних явищ і законів. Наприклад, спроектувати і побудувати літак або корабель (рис. 10) стало можливим лише після вивчення закономірностей руху тіл у повітрі і плавання тіл у рідині.

Автомобілі, тепловози, теплоходи, літаки приводяться в рух тепловими двигунами різних типів. Побудова таких двигунів стала можливою після вивчення властивостей газів та деяких теплових явищ.



Рис. 10

Електричні явища люди спостерігали ще за кілька століть до нашої ери. Проте у промисловості та побуті електрика почала використовуватися лише з кінця XIX ст., коли стали відомі основні закони електричних явищ.

**2** Удосконалення вимірювальної техніки, створення більш точних приладів призводить до нових відкриттів у фізиці. Так, створення мікроскопів дало можливість вивчати будову різних речовин.

Знання будови речовин, залежності властивостей речовин від їхньої будови, вміння змінювати ці властивості дали можливість створювати матеріали, які володіють високою міцністю, твердістю, жаростійкістю.

Завдяки цьому з'явилася можливість сконструювати спеціальні апарати для дослідження космічного простору, штучні супутники Землі для вивчення її природних ресурсів, клімату і завбачення погоди. Отримані з їхньою допомогою відомості сприяють, у свою чергу, розвитку науки.

Розвиток електронної техніки — поява калькуляторів, комп'ютерів, мобільних телефонів, нових моделей телевізорів (рис. 11), автоматичних пристроїв — став можливий завдяки створенню напівпровідникових матеріалів. У свою чергу, використання комп'ютерів дає можливість розв'язувати багато науково-дослідних і практичних задач.

Наприклад, комп'ютер дає можливість досить точно розрахувати траєкторії руху космічних тіл і космічних кораблів.

Досягнення фізики і техніки дали змогу сконструювати такі складні технічні пристрої, як прискорювачі заряджених частинок, що входять до



Рис. 11



складу атомного ядра. Вивчення властивостей атомних ядер дало змогу побудувати ядерний реактор — основу атомних (ядерних) електростанцій, атомних підводних човнів, атомних криголамів.

Нині ми стоїмо на порозі нової науково-технічної революції, пов'язаної з упровадженням так званих нанотехнологій.

Таким чином, *фізика і техніка тісно пов'язані між собою. Розвиток фізики спричиняє подальший розвиток техніки, а розвиток техніки сприяє новим досягненням фізики.*

**3** Фізика пов'язана з багатьма науками. Особливо тісно вона пов'язана з математикою та астрономією. Наведемо на підтвердження цього декілька прикладів. Математичні розрахунки, часто надзвичайно складні, доводиться проводити для запуску штучних супутників Землі і здійснення польотів космічних кораблів, при конструюванні ядерних реакторів та прискорювачів елементарних частинок, у теорії відносності; надзвичайно важлива роль математики у *теоретичній* фізиці.

Зв'язок фізики й астрономії проявляється, перш за все, в єдності земних і небесних явищ. Так, рух Місяця навколо Землі і падіння тіл на Землю відбуваються під впливом однієї і тієї самої причини — дії земного тяжіння. Однаковими є за своєю природою процеси, які відбуваються у надрах Сонця і в прискорювачах частинок, що діють на Землі. У свою чергу, розвиток астрономії сприяє розвитку фізики. Космос являє собою ніби гігантську лабораторію. Там речовина перебуває у таких станах, які неможливо досягти в земних умовах. Наприклад, відомі так звані нейтронні зорі, речовина в яких стиснута у сотні мільйонів разів більше, ніж повітря на Землі.



### Запитання для самоперевірки

1. Чому фізику вважають основою техніки?
2. Наведіть приклади технічних пристроїв. На яких фізичних явищах ґрунтується їхня робота?

3. Які механізми та електричні пристрої використовуються у вашому домі?
4. У чому проявляється зв'язок між фізикою і математикою? Наведіть приклади.
5. У чому проявляється зв'язок між фізикою й астрономією? Наведіть приклади.
- 6\*. Наведіть приклади фізичних пристроїв, що використовуються на транспорті.
- 7\*. Наведіть приклади приладів і технічних пристроїв, що використовуються в наукових дослідженнях.

## §4. Фізика й навколишній світ

- ✓ Що вивчає фізика?
- ✓ Як фізика вивчає навколишній світ?

У матеріальному світі, що оточує нас, зустрічаються найрізноманітніші тіла. Вони мають різну будову, різні властивості і розміри. Наприклад, розміри Сонця, планет та інших космічних об'єктів набагато більші за розміри тіл, які оточують нас на Землі (машин, будинків, дерев і т.ін.). У свою чергу, частинки, з яких складаються тіла, дуже малі порівняно з розмірами цих тіл.

Фізика вивчає властивості й поведінку як дуже малих тіл (об'єктів), так і дуже великих. Одні закони є спільними для фізичних тіл різних розмірів, інші описують поведінку лише малих тіл. Тому у фізиці об'єкти залежно від їхніх розмірів поділяють на три групи.

До *першої групи* належать скупчення зір — галактики та навіть скупчення галактик. Вони мають надзвичайно великі розміри. Ці об'єкти утворюють **мегасвіт**.

*Друга група* об'єктів становить **макросвіт**. Це все, що нас оточує, усе, що можна побачити неозброєним оком: зорі, планети, різноманітні тіла на Землі. Ці об'єкти мають різні розміри, що значно відрізняються один від одного. Так, Місяць має радіус 1738 км, а довжина легкового автомобіля складає 4–5 м. І Місяць, і автомобіль належать до об'єктів макросвіту.

*Третя група* об'єктів — **мікросвіт**. Це частинки, з яких складається речовина. Їхні розміри менші від  $10^{-8}$  см. У цьому світі виділено останнім часом особливі об'єкти розміром від 1 до 100 нм, так званий **наносвіт**.

Префікс нано- означає розмір  $10^{-9}$  м. До таких об'єктів, які називають наноструктурами, належать надтонкі плівки, нанонитки, нанотрубки. Дослідження показали, що усі ці матеріали володіють унікальними властивостями, які вже знайшли широке застосування в техніці і різних технологіях (нанотехнології). Знати, як поведуться мікрочастинки, дуже важливо для розуміння будови і властивостей різних тіл.

*Фізика вивчає властивості тіл і явища, що відбуваються в мікро-, макро- та мегасвіті. Знання про навколишній світ можна отримати як під час проведення спостережень та експерименту, так і теоретично. Закони, установлені в ході експерименту, пояснюються за допомогою фізичних теорій.*

Якщо знання про явища і властивості тіл були отримані теоретичним шляхом, то їхня правильність перевіряється експериментом.

Усі знання про певне коло фізичних явищ: їхній опис, величини, якими вони характеризуються, результати експериментів, закони — входять до фізичної теорії.

На рис. 12 наведена схема, на якій показано, що вивчає фізика, як вона вивчає навколишній світ та в якій формі систематизуються отримані знання.

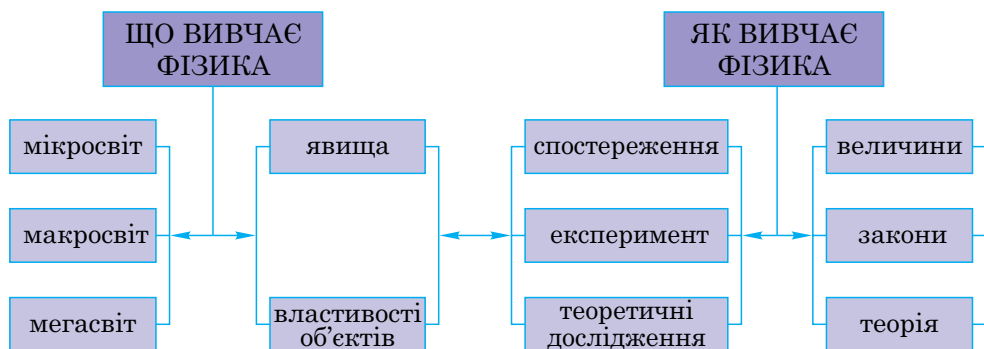


Рис. 12



## Запитання для самоперевірки

1. Які ви знаєте об'єкти мегасвіту?
2. Наведіть приклади об'єктів макросвіту.
3. Назвіть відомі вам об'єкти мікросвіту.
4. Що називається наносвітом?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропонований в електронному додатку тест № 1.

### §5. Видатні вчені-фізики

✓ Назвіть відомих вам фізиків.

Вивчення історії розвитку фізики, ознайомлення з діяльністю творців цієї науки безумовно сприяє глибшому розумінню законів фізики, її понять і теорій. Звичайно, навіть перелічити видатних учених-фізиків, які внесли свій вклад у розвиток цієї науки, що налічує більш ніж дві тисячі років, неможливо. Тому наведений нижче перелік, безумовно, далеко неповний.

**Аристотель** (384–322 рр. до н.е.), давньогрецький учений, узагальнив відомі на той час знання про природу.

**Архімед** (287–212 рр. до н.е.), давньогрецький фізик і математик, відкрив закони плавання тіл у рідині.

**Галілео Галілей** (1564–1642), італійський фізик, відкрив закон інерції.

**Ісаак Ньютон** (1643–1727), англійський фізик і математик, творець класичної механіки, відкрив закон всесвітнього тяжіння.

**Максвелл Джеймс Кларк** (1831–1879), англійський фізик, створив теорію електромагнітного поля.





Архімед



Аристотель



Галілео Галілей

**Альберт Ейнштейн** (1879–1955), народився у Німеччині, останні роки свого життя працював у США, створив теорію відносності — сучасну фізичну теорію часу, простору і гравітаційного поля.

**Ернест Резерфорд** (1871–1937), англійський фізик, засновник ядерної фізики.

**Нільс Бор** (1885–1962), данський фізик-теоретик, один із творців сучасної квантової механіки.

**Лев Ландау** (1908–1968), радянський фізик-теоретик, у 1932-1937 рр. працював у Харкові. Діапазон наукової діяльності досить широкий — від фізики твердого тіла до теорії поля і ядерної фізики.

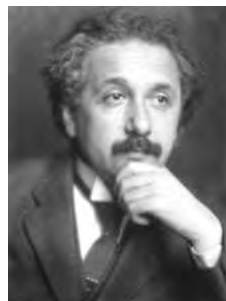
**Сергій Корольов** (1906–1966), народився у Житомирі, головний конструктор радянських ракетно-космічних систем.



Ісаак Ньютон



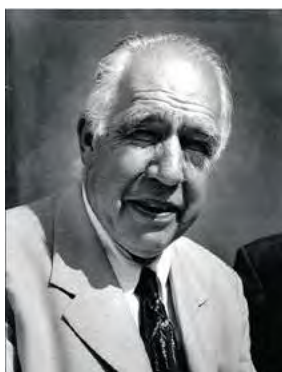
Джеймс Максвелл



Альберт Ейнштейн



Ернест Резерфорд



Нільс Бор



Лев Ландау

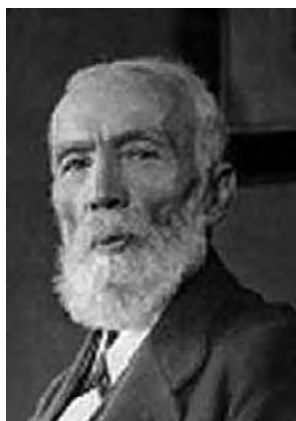
**Борис Патон** (нар. у 1918 р.), народився в Києві, дослідив процеси автоматичного зварювання та зварювання у відкритому космосі, з 1962 р. — Президент Національної академії наук України.

Слід відзначити ряд українських фізиків, яким довелося працювати за кордоном.

**Іван Пулюй** (1845–1918), народився у м. Гримайлів, працював у галузі дослідження газорозрядних процесів, електротехніки та рентгенівських променів.



Борис Патон



Іван Пулюй



Олександр Смакула

**Олександр Смакула** (1900–1983), народився у с. Добриводи, видатний український фізик, відомий своїми роботами в оптиці та вивченні кристалів.



## Запитання для самоперевірки

1. Яких фізиків ви знаєте? В яких галузях науки вони працювали?
2. Яких українських фізиків ви знаєте?

## §6. Фізичні величини. Одиниці фізичних величин

- ✓ Що називають температурою?
- ✓ Що таке швидкість тіла?

**1** Для того, щоб кількісно охарактеризувати фізичне явище, необхідно ввести певні фізичні величини.

Будемо спостерігати за нагріванням води у чайнику. Ступінь нагрятості води характеризується фізичною величиною, яка називається *температурою*. Температура є загальною характеристикою усіх явищ, пов'язаних з нагріванням або охолодженням тіл, і в кожному конкретному випадку вона має цілком певне значення.

Рух тіл характеризується фізичною величиною, яку називають *швидкістю*. Ми говоримо, що автомобіль рухається зі швидкістю 60 км/год, велосипедист — зі швидкістю 20 км/год, тобто швидкість, характеризуючи рух, має різні значення для автомобіля і велосипедиста.

**2** Деякі фізичні величини характеризують властивості тіл і речовин. Усі тіла притягуються до Землі. Величину, яка характеризує властивість тіл притягуватися до Землі, називають масою тіла. Маса тіла має певне значення, воно різне у різних тіл. Так, наприклад, маса яблука 100 г, маса автомобіля АвтоЗАЗ Ланос — 1182 кг, маса Місяця —  $7,35 \cdot 10^{22}$  кг.

Отже, **фізичні величини кількісно характеризують фізичні явища і властивості тіл та речовин.**

Щоб увести фізичну величину, потрібно перш за все встановити, яке явище чи властивість вона характеризує.

**3** Фізичні величини мають певні значення. Під значенням фізичної величини розуміють деяке число та одиницю фізичної величини.

Наприклад, відомо, що довжина стола становить 2 м. Записують це так:  $l = 2 \text{ м}$ . У цьому виразі:  $l$  — умовне позначення довжини, 2 — числове значення довжини стола, м (метр) — одиниця довжини, 2 м — значення довжини стола.

Більшість фізичних величин мають певні одиниці вимірювання.

У *Міжнародній системі одиниць* (скорочено пишуть СІ — система інтернаціональна) за основну одиницю довжини прийнято *метр* (**1 м**). За основну одиницю маси прийнято *кілограм* (**1 кг**). Основною одиницею часу є *секунда* (**1 с**), основною одиницею сили струму є *ампер* (**1 А**).

**4** Від вибору одиниці залежить числове значення фізичної величини, воно змінюється при використанні іншої одиниці. Наприклад, довжина стола дорівнює 2 м, або 200 см. Числові значення фізичної величини (довжини стола) різні, оскільки різні одиниці цієї величини.

Крім основних, існують **кратні і частинні** одиниці. Так, кратною одиницею довжини являється кілометр, а частинними одиницями — дециметр, сантиметр, міліметр. Кратні одиниці маси — тонна, центнер, частинні — грам, міліграм та інші. Щоб переходити від одних одиниць до інших, потрібно знати співвідношення між ними. Так,

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 10^2 \text{ см};$$

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м} = 10^3 \text{ м};$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м} = 10^{-3} \text{ м};$$

$$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г} = 10^3 \text{ г};$$

$$1 \text{ мг} = 10^{-3} \text{ г} = 10^{-6} \text{ кг};$$

$$1 \text{ год} = 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ с}.$$





## Запитання для самоперевірки

1. Які фізичні величини характеризують наступні явища: а) охолодження повітря в кімнаті; б) рух автомобіля?
2. Які фізичні величини наведено в параграфі? Наведіть приклади відомих вам фізичних величин, що не вказані в тексті параграфа.
3. Назвіть одиниці довжини і часу, які не вказані в тексті параграфа.



## Завдання 2

1. Довжина кімнати 4 м. Виразіть її довжину в см; в дм.
2. Маса автомобіля 2 т. Виразіть його масу в кг; в г.
3. Учень виконав завдання за 1 год 20 хв. Виразіть цей час у хв; у с.
- 4\*. Об'єм води в акваріумі 5 л. Виразіть цей об'єм у  $\text{м}^3$ ;  $\text{дм}^3$ ; у  $\text{см}^3$ .



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §7. Вимірювання фізичних величин

- ✓ Що називають фізичною величиною?
- ✓ Які вимірювальні прилади ви знаєте?

**1** Джерелом наших знань про природу є спостереження й експерименти. Під час проведення фізичних дослідів доводиться вимірювати найрізноманітніші величини.

Наприклад, спостереження та численні експерименти показують, що об'єм тіла збільшується з підвищенням його температури. Для того, щоб

дізнатися про те, як саме об'єм тіла залежить від температури, потрібно під час досліду проводити вимірювання цих двох величин.

## 2 Що означає виміряти фізичну величину?

Наприклад, ми хочемо виміряти довжину олівця. Щоб це зробити, візьмемо відрізок завдовжки 1 см і з'ясуємо, скільки разів цей відрізок укладеться на довжині олівця. Іншими словами, ми порівнюємо довжину олівця з довжиною відрізка 1 см.

Щоб виміряти проміжок часу між початком руху автомобіля і його зупинкою, потрібно з'ясувати, скільки секунд міститься в цьому проміжку. Ми порівнюємо цей проміжок часу з проміжком, що дорівнює 1 с.

Таким чином, **щоб виміряти фізичну величину, потрібно порівняти її з однорідною величиною, яку прийнято за одиницю.**

У результаті вимірювання величини отримують її значення, виражене у певних одиницях.

**3** Фізичні величини вимірюють за допомогою спеціальних приладів. Одним із найпростіших вимірювальних приладів є лінійка (рис. 13).

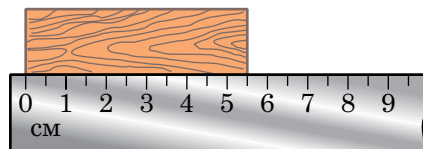


Рис. 13

Використовуючи її, можна виміряти довжину, ширину і висоту тіла, тобто його лінійні розміри.

Фізичними приладами, які вам добре відомі, є також секундомір, за допомогою якого вимірюють час (рис. 14); ваги або терези, які дають змогу визначити масу тіла (рис. 15). Приладом, за допомогою якого вимірюють об'єм рідини, є вимірювальний циліндр — мензурка (рис. 16).

**4** Розглянемо прилади, зображені на рисунках 13–16. На приладах нанесені штрихи, а поряд з деякими штрихами стоять числа. *Штрихи і числа поряд з ними утворюють шкалу приладу.* За шкалою приладу визначають значення вимірюваної величини.

На приладі, крім шкали, позначають одиницю вимірюваної величини.

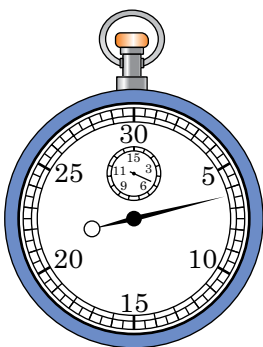


Рис. 14

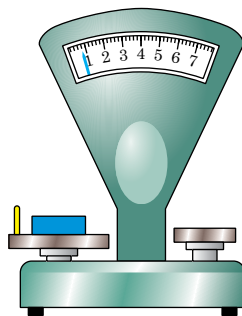


Рис. 15

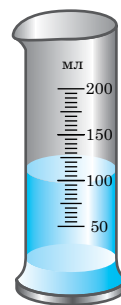


Рис. 16

**5** Ще раз поглянемо на шкали приладів (див. рис. 13–16). Ми бачимо, що числа стоять лише біля деяких штрихів, а поряд із більшістю штрихів чисел немає.

Виникає запитання: як дізнатися про значення вимірюваної величини, якщо його не можна прочитати безпосередньо на шкалі приладу? Для цього потрібно знати ціну поділки шкали.

**Ціна поділки — це значення найменшої поділки (відстані між двома штрихами) шкали вимірювального приладу.**

Щоб визначити ціну поділки шкали приладу, необхідно послідовно виконати наступні дії.

1. Знайти різницю між двома найближчими значеннями, позначеними на шкалі приладу.
2. Знайти кількість поділок між цими значеннями.
3. Знайти ціну поділки шкали приладу, поділивши різницю значень величини на кількість поділок між цими значеннями.

Визначимо ціну поділки шкали лінійки (див. рис. 13). Для цього:

- 1) знайдемо різницю двох будь-яких значень, позначених на лінійці, наприклад,  $6\text{ см} - 5\text{ см} = 1\text{ см}$ ;
- 2) знайдемо кількість поділок шкали між цими значеннями; вона дорівнює 2;
- 3) знайдемо значення однієї поділки; для цього  $1\text{ см}$  поділимо на дві поділки:  $1\text{ см} : 2 = 0,5\text{ см}$ .

Отримане значення і є ціною поділки шкали лінійки. Отже, ціна поділки становить:

$$\frac{6 \text{ см} - 5 \text{ см}}{2} = 0,5 \text{ см.}$$

Тепер, знаючи ціну поділки шкали, визначимо значення вимірюваної величини — довжини бруска. Для цього:

1) розмістимо лівий кінець бруска проти нульової поділки лінійки, знайдемо найближчий штрих перед правим кінцем бруска, біля якого нанесено значення вимірюваної величини; воно дорівнює 5 см.

2) визначимо кількість поділок, розташованих між цим значенням довжини і правим кінцем бруска; вона дорівнює 1.

3) помножимо ціну поділки на кількість поділок:

$$0,5 \text{ см} \cdot 1 = 0,5 \text{ см};$$

4) додамо отримане значення до 5 см:

$$5 \text{ см} + 0,5 \text{ см} = 5,5 \text{ см.}$$

Це і є значення вимірюваної величини, тобто, у цьому випадку довжина бруска становить 5,5 см.



### Запитання для самоперевірки

1. З якою метою проводять вимірювання в фізиці?
2. Що означає виміряти фізичну величину? Поясніть на прикладі.
3. Що називається шкалою вимірювального приладу?
4. Що таке ціна поділки шкали приладу і як її можна визначити?



### Завдання 3

1. Визначте ціну поділки і покази приладів, зображених на рисунках 14–16. Одержані результати занесіть у таблицю № 1, перемалювавши її в зошит.

Таблиця 1

№ п/п	Назва приладу	Вимірювана величина	Ціна поділки	Значення величини
1	Секундомір			
2	Ваги			
3	Мензурка			

2. Визначте ціну поділки вашої лінійки. Виміряйте нею довжину олівця.
3. Виміряйте вдома довжину і ширину стола за допомогою вимірювальної стрічки (побутового сантиметра), визначивши попередньо ціну поділки її шкали.
4. Визначте об'єм води в каструлі *методом оцінювання*<sup>1</sup>.
5. Виміряйте час витікання води з пляшки.



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку до підручника.

## §8. Точність вимірювань

- ✓ Що означає виміряти фізичну величину?
- ✓ Що називають ціною поділки шкали вимірювального приладу? Як її визначити?

**1** При вимірюванні фізичних величин часто потрібно одержати якомога точніший результат, оскільки від цього залежить обґрунтованість висновків, які робляться за результатами проведених експериментів.

З'ясуємо, від чого залежить точність вимірювань.

<sup>1</sup> Метод оцінювання використовують тоді, коли не вимагається точне вимірювання величини. В основі цього методу лежить порівняння величини, що визначається, з відомою величиною. Так, можна визначити висоту п'ятиповерхового будинку, помноживши висоту одного поверху (біля 3 м) на 5. Отримаємо приблизно 15 м.



Виміряємо довжину одного і того самого бруска за допомогою двох лінійок (рис. 17 і 18). Ціна поділки шкали першої лінійки 1 см, другої — 1 мм.

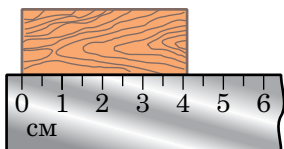


Рис. 17

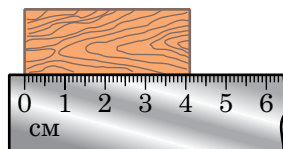


Рис. 18

Значення довжини бруска, отримане за допомогою першої лінійки, дорівнює 4 см, а за допомогою другої — 41 мм. Якщо використати лінійку зі ще меншою ціною поділки шкали, отримаємо ще точніший результат. Отже, точність вимірювань залежить від ціни поділки шкали приладу. *Чим менша ціна поділки, тим більша точність вимірювання.*

Таким чином, фізичну величину не можна виміряти точно. При її вимірюванні є невідворотні помилки, або, як говорять, **похибки** вимірювання. Похибки виникають унаслідок недосконалості вимірювальних приладів, пов'язаних з особливостями їхньої конструкції. В міру удосконалення вимірювальних приладів підвищується точність вимірювань.

Можна вважати, що *похибка вимірювань дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу*. Цю похибку називають **абсолютною похибкою вимірювань**.

Під час використання вимірювальних приладів потрібно дотримуватися певних правил, щоб не вносити додаткову похибку. Так, при зніманні показів шкала приладу повинна знаходитися прямо перед очима; при вимірюванні температури рідини термометр не можна виймати з неї; під час зважування тіл потрібно слідкувати, щоб ваги були горизонтальними, чаші ваг були сухими, і т.ін.

**2** Як правильно записати результат вимірювань з урахуванням абсолютної похибки?

Для відповіді на це запитання розглянемо приклад. Виміряємо довжину стола  $l$  за допомогою демонстраційного метра, ціна поділки якого 1 см.

Нехай вона становить 231 см. Абсолютна похибка вимірювання складає половину ціни поділки, отже, вона дорівнює 0,5 см. Тоді результат вимірювання довжини стола запишеться у вигляді:

$$l = (231,0 \pm 0,5) \text{ см.}$$

Це означає, що істинне значення вимірюваної величини лежить у межах:

$$230,5 \text{ см} \leq l \leq 231,5 \text{ см.}$$

На числовому промені (рис. 19) виділено інтервал, в якому лежить істинне значення довжини стола; ширина цього інтервалу дорівнює 1 см.

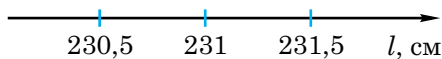


Рис. 19

Таким чином, якщо значення фізичної величини  $A$ , отримане в результаті вимірювання, позначити через  $a$ , абсолютну похибку вимірювання через  $\Delta a$  ( $\Delta$  — велика грецька літера «дельта»), то результат вимірювання запишеться так:

$$A = a \pm \Delta a.$$

Зазначимо, що вимірювання розмірів малих тіл є завданням не з легких. Наприклад, якщо вимірювати діаметр пшонини за допомогою лінійки з ціною поділки її шкали 1 мм, то абсолютна похибка такого вимірювання буде приблизно такою самою, як і діаметр пшонини.

Для зменшення похибок вимірювань користуються методом рядів. Для цього вкладають щільно в ряд декілька пшонин ( $n$ ) і вимірюють довжину ряду ( $L$ ). Тоді діаметр пшонини  $d = \frac{L}{n}$ . При цьому абсолютна похибка вимірювання діаметра пшонини дорівнюватиме абсолютній похибці вимірювання лінійкою (0,5 мм), поділеній на кількість пшонин у ряді. Отже, чим *більша* кількість малих тіл у ряді, тим менша абсолютна похибка вимірювання, тобто одержується точніший результат.

Для того, щоб узнати, наскільки великою є похибка вимірювання у кожному випадку, обчислюють **відносну похибку**  $\delta a$  ( $\delta$  — мала грецька літера «дельта»). Вона дорівнює відношенню абсолютної похибки  $\Delta a$  до значення  $a$  фізичної величини, одержаного в результаті вимірювання:

$$\delta a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%.$$

Відносну похибку виражають у відсотках.



### Запитання для самоперевірки

1. Чи можна фізичну величину виміряти точно? Відповідь поясніть.
2. Назвіть причини похибок при вимірюваннях.
3. Як пов'язана точність вимірювань із ціною поділки шкали приладу?
4. Як записати результат вимірювання з урахуванням похибки?
5. У чому полягає метод рядів?
6. Що таке відносна похибка?



### Завдання 4

1. Виміряйте лінійкою довжину зошита і запишіть результат з урахуванням похибки вимірювання.
2. Запишіть покази приладів, зображених на рисунках 13–16, з урахуванням похибок вимірювань.



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.



## Лабораторна робота № 1–2

### Визначення ціни поділки вимірювального приладу.

### Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин і сипких матеріалів

**Мета роботи.** Навчитися: 1) визначати ціну поділки приладу і знімати його покази; 2) проводити вимірювання за допомогою найпростіших вимірювальних засобів; 3) оформляти звіт про виконання лабораторної роботи.

**Обладнання.** 1. Лінійка. 2. Мензурка або мірний циліндр. 3. Фотографії шкал кімнатного і медичного термометрів. 4. Паперова стрічка завдовжки 15–20 см. 5. Брусок у формі паралелепіпеда або куба. 6. Склянка з водою. 7. Нитка. 8\*. Невелике тіло неправильної форми.



### *Хід роботи*

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть §7, §8 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи №1.

2. Уважно розгляньте засоби вимірювань і обладнання до лабораторної роботи. Вивчіть шкали лінійки, мензурки, термометрів та визначте ціну поділки кожного приладу; занесіть дані в таблицю.

№ п/п	Вимірювальний прилад	Одиниці вимірювання	Межі вимірювання	Ціна поділки
1	Лінійка			
2	Кімнатний термометр			
3	Медичний термометр			
4	Мензурка			

**3.** Ознайомтеся з інструкцією і визначте, як правильно знімати покази приладів. Коротко запишіть у зошит основні правила проведення вимірювань. За потреби звертайтеся за роз'ясненнями до вчителя.

**4.** Виготовіть з паперу мірну стрічку з ціною поділки 2 мм і за допомогою неї виміряйте довжину олівця й авторучки. Занесіть результати вимірювань у таблицю.

№ п/п	Вимірювана величина	Покази засобу вимірювання
1	Довжина олівця	
2	Довжина авторучки	

**5.** Проведіть вимірювання об'єму води за допомогою мензурки (або мірного циліндра), провівши три досліди.

**Дослід 1.** Налийте у мензурку певну кількість води (більше половини об'єму) і визначте її об'єм  $V_1$ .

**Дослід 2.** Відлийте з мензурки 10-20 мл води і виміряйте об'єм води  $V_2$ , що залишилася у мензурці.

**Дослід 3.** Долийте у мензурку 10-50 мл води і виміряйте її об'єм  $V_3$ . Дані занесіть у таблицю.

Об'єм води у мензурці		
$V_1$	$V_2$	$V_3$

**6.** Визначте об'єм бруска. Для цього налейте у мензурку певну кількість води і виміряйте її об'єм  $V_1$ . Потім прикріпіть брусок до нитки і повністю занурте його у воду. Визначте, який об'єм  $V_2$  займають вода і брусок разом.



Шуканий об'єм бруска дорівнює  $V = V_2 - V_1$ . Дані вимірювань занесіть у таблицю, виразивши об'єм у різних одиницях.

Вимірювана величина		Об'єм бруска ( $V = V_2 - V_1$ )			
$V_1$	$V_2$	см <sup>3</sup>	мм <sup>3</sup>	дм <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>

7. Знайдіть об'єм бруска  $V$  за відомою вам математичною формулою, вимірявши лінійкою його довжину ( $l$ ), ширину ( $b$ ) і висоту ( $h$ ):  $V = l \cdot b \cdot h$ . На основі даних вимірювань і розрахунків заповніть відповідну таблицю.

Вимірювана величина			Об'єм бруска ( $V = l \cdot b \cdot h$ )			
$l$	$b$	$h$	см <sup>3</sup>	мм <sup>3</sup>	дм <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>

8. Порівняйте значення об'єму бруска, знайденого за допомогою мензурки, і його об'єму, обчисленого за математичною формулою. Поясніть причину можливої розбіжності у результатах.

9\*. Додаткове завдання. Визначте об'єм тіла неправильної форми за допомогою мензурки. Дані занесіть у таблицю.

Об'єм $V_1$ води до занурення	Об'єм $V_2$ води після занурення	Об'єм тіла $V = V_2 - V_1$

10. *Вимірювання об'єму сипких речовин за допомогою мензурки.*

Насипте у мензурку невелику кількість сипучої речовини (пісок або гречка).

Легкими потрушуваннями мензурки встановіть поверхню сипкої речовини горизонтальною.

За шкалою мензурки (вимірювального циліндра) визначте об'єм сипкої речовини, що знаходиться в ній. Результат запишіть із врахуванням похибки вимірювання  $V = V \pm \Delta V =$  \_\_\_\_\_.

10. Зробіть висновки.



## Лабораторна робота № 3

### Визначення розмірів малих тіл різними способами

**Мета роботи.** 1. Ознайомитися з методами вимірювання розмірів малих тіл.  
2. Навчитися визначати лінійні розміри малих тіл, якщо ці розміри менші за ціну поділки шкали приладу.

**Обладнання.** 1. Лінійка. 2. Мензурка. 3. Посудина з водою. 4. Швацька нитка або тонка дротина. 5. Набір тіл малих розмірів (горох, пшоно, дріб). 6. Олівець. 7\*. Мікрофотографія.



### *Хід роботи*

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть §7, §8 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи № 2.

2. З'ясуйте, у чому полягає метод рядів, який використовують при вимірюванні різних характеристик малих тіл (діаметра, об'єму, маси тощо).

3. Скориставшись методом рядів, виміряйте за допомогою звичайної лінійки з міліметровими поділками діаметр горошини, пшонини і мисливської дробини. Результати вимірювань занесіть у таблицю.

№ п/п	Назва малого тіла	Довжина $L$ ряду	Кількість $n$ частинок у ряду	Діаметр $l = \frac{L}{n}$
1	Горошина			
2	Пшона			
3	Дробина			

4. Визначте товщину нитки (дротини), щільно намотавши її на олівець в один шар. Результати вимірювань занесіть у таблицю.

Довжина $L$ ряду	Кількість $n$ витків	Товщина нитки $l = \frac{L}{n}$

5. За допомогою мензурки визначте середній об'єм однієї мисливської дробини. Для цього налейте з посудини воду в мензурку і визначте об'єм  $V_1$  цієї води. Тоді обережно вкиньте у мензурку 5–10 дробин та визначте об'єм  $V_2$  води і дробин. Дані вимірювань занесіть у таблицю. Проведіть відповідні обчислення. Дослід повторіть 2–3 рази з різною кількістю дробин.

№ п/п	Початковий об'єм води у мензурці $V_1$	Об'єм води і дробу $V_2$	Об'єм дробу $V_2 - V_1$	Кількість дробин $n$	Середній об'єм однієї дробини $V = \frac{V_2 - V_1}{n}$
1					
2					
3					

6\*. *Додаткове завдання.* Якщо є мікрофотографія, то розгляньте її. З'ясуйте, що на ній зображено та при якому збільшенні було зроблено знімок. Визначте реальний розмір частинки. Дані вимірювань занесіть у таблицю.

Назва малого тіла (частинки)	Довжина $L$ ряду	Кількість $n$ частинок у ряду	Діаметр частинки на фотографії $l = \frac{L}{n}$	Збільшення $N$ при фотографуванні	Реальний розмір частинки $l_0 = \frac{l}{N}$

7. Зробіть висновки.



### Домашнє завдання

Користуючись лінійкою з міліметровими поділками, виміряйте товщину аркуша паперу, з якого виготовлено підручник фізики.

## §9. Зв'язок між фізичними величинами. Фізичні теорії

- ✓ Що називають фізичною величиною?
- ✓ Наведіть приклади взаємозв'язку фізичних величин.

**1** Як ви знаєте, для опису фізичних явищ та властивостей тіл і речовин використовують фізичні величини.

Проводячи експерименти, учені помітили, що величини, які характеризують одне і те саме явище, взаємно пов'язані.

Наприклад, при зміні температури тіл їхні об'єм і довжина також змінюються. Вони збільшуються внаслідок підвищення температури і зменшуються з її зниженням. Температура води в чайнику при нагріванні залежить від часу нагрівання.

**2** Щоб зробити висновок про те, що взаємозв'язок між величинами не випадковий, його справедливість перевіряють для багатьох подібних явищ.

Якщо зв'язки між величинами, що характеризують явище, виявляються постійно, то їх називають **фізичними законами**.

Існують фізичні закони, що стосуються відношення тільки певних фізичних явищ. Наприклад, існують закони, які описують механічні явища, або закони, яким підлягають теплові явища. Окрім цього, існують більш загальні закони, які справедливі для усіх фізичних явищ. Сукупність явищ, які описуються законами, визначається межами їхньої застосовності.

Звичайно, фізичний закон записують у вигляді формули.

**3** Пізнання навколишнього світу було б неповним, якби люди тільки спостерігали й описували явища, установлювали закони. Потрібно ще й уміти пояснювати явища природи. Людина, вивчаючи природу, завжди прагне відповісти не тільки на запитання «Що відбувається?», але й на запитання «Чому так відбувається?».

Відповідь на запитання «Чому відбувається те чи інше явище?» можна одержати за допомогою теоретичних знань, які є основою **фізичної теорії**. Так, механічні явища, наприклад, характер руху транспортних засобів чи супутників Землі, пояснюють теорією, яка називається *механікою*. Пояснити, чому тіла за нагрівання розширюються, чому нагрівається ложка, опущена в склянку з гарячим чаєм, дає змогу *молекулярно-кінетична теорія будови речовини*. Існують теорії, що пояснюють електричні, оптичні і магнітні явища.

Таким чином, фізичні явища — механічні, теплові, електричні та інші — пояснюються відповідними фізичними теоріями. Теорія містить загальні, систематизовані знання про фізичні явища.

Теорія дає змогу не тільки пояснити, чому відбувається явище, але й передбачити його перебіг.





## Запитання для самоперевірки

1. Що виражає фізичний закон?
2. Чи можна вважати фізичним законом зв'язки між величинами, які не повторюються в експериментах?
3. Яка роль фізичної теорії?
4. Які явища пояснює механіка?

### §10. Початкові відомості про будову речовини. Атоми й молекули

- ✓ Якщо шматок крейди розламати навпіл, отримані уламки ще раз розламати і т.д., то чи існує межа поділу?
- ✓ Як ви вважаєте, чи існують проміжки між частинками, з яких складаються різні тіла?

**1** Існує багато явищ природи, які можна пояснити й зрозуміти лише знаючи будову речовини.

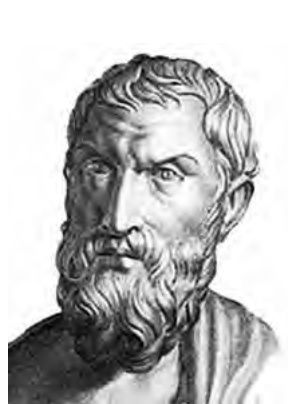
Питання про будову речовини цікавило вчених ще в стародавні часи. Так, у V ст. до н.е. давньогрецький учений **Демокріт** (460–370 рр. до н.е.) висловив думку про те, що речовина складається з невидимих найдрібні-



Демокріт



Епікур



Лукрецій Кар

ших частинок, розділених певними проміжками. Цю найменшу частинку речовини він назвав атомом. Слово «атом» — грецьке, що означає «неподільний». Інший давньогрецький учений **Епікур** (341–270 рр. до н.е.) дали розвинув ідеї Демокріта. Він уважав, що атоми безперервно рухаються і стикаються між собою. Погляди Демокріта та Епікура були викладені у поемі римського філософа і поета **Лукреція Кара** «Про природу речей». Але здогадки цих учених не відразу перетворилися в наукову теорію.

Бо справедливість тієї чи іншої гіпотези міг підтвердити лише експеримент, який у ті далекі часи провести було неможливо.

Тому ідеї Демокріта та Епікура на багато століть були забуті. До них повернулися лише в XVII–XVIII ст., коли була створена теорія газів і були зроблені інші відкриття в науці.

**2** Атоми за своїми розмірами настільки малі, що побачити їх неозброєним оком і навіть за допомогою найкращого оптичного мікроскопа неможливо. Встановлено, що атоми мають розмір приблизно  $10^{-10}$  м, або 0,000 000 000 1 м. Щоб уявити цей розмір, розглянемо атом і поряд з ним горіх. Якщо уявно збільшити ці об'єкти так, щоб атом мав такий самий розмір, як горіх, то горіх буде розміром, як Земля.

З окремих атомів складаються різні хімічні елементи: Гідроген, Оксиген, Уран і т.д. На сьогодні відомо більше 110 різних хімічних елементів; їхні атоми відрізняються між собою розмірами, масою та іншими властивостями. За цією ознакою російський хімік **Д. Менделєєв** (1834–1907) склав періодичну систему хімічних елементів.

**Атом — це найменша частинка хімічного елемента, яка не ділиться під час хімічних реакцій і зберігає його властивості.** Останнє означає, що коли взяти краплю ртуті і окремо атом Меркурію, то вони будуть поводити себе однаково у різних хімічних реакціях.



Дмитро Менделєєв

Атоми можуть сполучатися у молекули. «Молекула» — латинське слово, означає «маленька маса». **Молекулою називають найменшу частинку речовини, яка зберігає усі її хімічні властивості.** Розуміти це слід так. Наприклад, візьмемо крейду — речовину, молекули якої складаються з одного атома Кальцію, одного атома Карбону та трьох атомів Оксигену ( $\text{CaCO}_3$ ). До складу молекули бензолу входять 6 атомів Карбону і 6 атомів Гідрогену (рис. 20). Молекули вітамінів, білків складаються з сотень тисяч і мільйонів різних атомів.

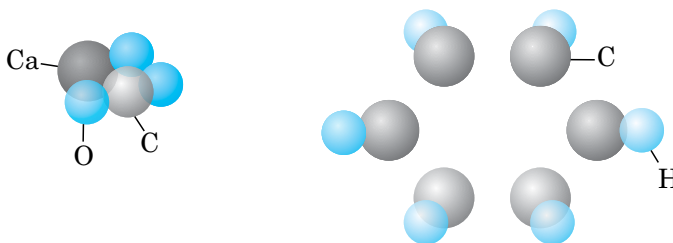


Рис. 20

**3** Численні експерименти і теоретичні міркування показали, що атоми і молекули є найдрібнішими частинками, з яких складається речовина. Дрібніших частинок, які б визначали хімічні властивості речовин, не існує. Проте на початку XX ст. було встановлено, що атом теж має складну структуру: у центрі атома знаходиться **атомне ядро**, навколо якого рухаються **електрони**. Розрахунки англійського фізика Ернеста Резерфорда показали, що розмір ядра атома приблизно у сто тисяч разів менший від розміру атома. Тобто, якщо розміри атома збільшити до розмірів будинку, то ядро було б маковим зернятком у цьому будинку. Ядро атома, у свою чергу, складається з частинок, які називаються **протонами** і **нейтронами**, а останні складаються з **кварків**. Чи кварки уже є межею поділу і чи вони складаються з якихось структурних частинок — на сьогодні невідомо.

Атом, який втратив або приєднав один або декілька електронів, називається **йоном**. Так, метали складаються з йонів, які коливаються від-

носно деяких положень рівноваги — вузлів кристалічної решітки — та вільних електронів, що хаотично рухаються, утворюючи електронний газ.



## Запитання для самоперевірки

1. Чи існує межа поділу речовини?
2. Що таке атом?
3. Які приблизно розміри атомів?
4. Що називають молекулою?
5. Чи можна поділити атом на дрібніші частинки у ході хімічної реакції? А — молекулу?
6. З яких атомів складається молекула води; бензолу?
7. Чи можете ви навести порівняння, що дає змогу уявити розмір атома?
8. Чому різні речовини — вода, мідь, скло — здаються нам суцільними?
9. До яких пір буде розтікатися крапля олії, поміщена на поверхню води у широкій посудині? Відповідь обґрунтуйте.



## Завдання 5

- 1\*. Як, знаючи об'єм краплі олії, визначити розмір молекули олії? Проведіть відповідний експеримент.
2. Скільки приблизно атомів уміщається на відрізку завдовжки 1 м, якщо їх розташувати впритул один до одного?

## §11\*. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії та їхнє дослідне обґрунтування

✓ Як ви думаєте, чи можна побачити атоми речовини?

Молекулярно-кінетична теорія — це сучасне вчення про будову і властивості різних речовин. В основі цієї теорії лежать три основні положення:

- 1) усі тіла складаються з дрібних частинок — атомів та молекул;
- 2) атоми та молекули перебувають у безперервному безладному (хаотичному) русі;
- 3) між атомами та молекулами діють сили притягання та відштовхування.

Нижче будуть розглянуті експериментальні підтвердження цих положень.

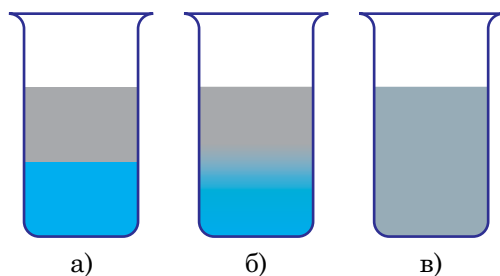
**1** Нині уже ніхто не сумнівається в існуванні атомів та молекул. У 70-х роках ХХ ст. за допомогою спеціального електронного мікроскопа, який дає збільшення у сотні тисяч і мільйони разів удалося розгледіти окремі атоми та молекули і навіть сфотографувати їх. До цього часу існували лише непрямі докази їхнього існування. На рис. 21 наведено фотографію вістря вольфрамової голки, зробленої за допомогою електронного мікроскопа. На цій фотографії круглі плями — це зображення окремих атомів Вольфраму.



Рис. 21



**2** Далі, розглянемо такий дослід. У мензурку наллємо розчин мідного купоросу. Цей розчин має темно-блакитний колір, він важчий за воду. Поверх нього обережно, щоб не змішати рідини, доливаємо шар чистої води, щоб між рідинами була чітка межа (рис. 22, а). Посудину залишимо у спокійному місці. Через два-три дні ми помітимо, що межа між рідинами розмивається (рис. 22, б). А через два-три тижні уся рідина у пробірці набуває блідо-блакитного кольору (рис. 22, в).



**Рис. 22**

У цьому досліді молекули мідного купоросу проникають у проміжки між молекулами води, а молекули води — у проміжки між молекулами мідного купоросу.

**Явище самовільного взаємного проникнення контактуючих між собою речовин називається дифузією.**

Дифузія є дослідним підтвердженням хаотичного руху молекул. Вона спостерігається і в газах. Якщо в кімнаті відкрити флакон з одеколоном, то через деякий час його запах пошириться по всій кімнаті. Це пояснюється тим, що молекули одеколону внаслідок свого хаотичного руху проникають у проміжки між молекулами повітря і навпаки. Дифузія в газах відбувається навіть швидше, ніж у рідинах.

Дифузія відбувається і в твердих тілах, хоча там вона відбувається дуже повільно, оскільки відстані між атомами твердих тіл значно менші, ніж у рідинах, а тим більше в газах. Було проведено такий дослід. Дві добре відполіровані плитки — свинцева і золота — притискали одна до одної

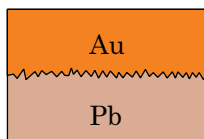


Рис. 23

і поміщали в піч з високою температурою, але нижчою, ніж температура плавлення свинцю. Приблизно через рік розглядали під мікроскопом шар на межі стикання плиток. У ньому було виявлено як наявність золота, так і наявність свинцю (рис. 23).

Виникає запитання: від чого залежить швидкість дифузії? З наведених вище прикладів випливає, що дифузія залежить від агрегатного стану речовини: газ, рідина чи тверде тіло. Крім цього, виявляється, що вона істотно залежить і від температури: чим вища температура, тим швидше відбувається дифузія. Переконалися у цьому можна на такому досліді. Приготуємо дві посудини з розчином мідного купоросу і наллємо на нього шар чистої води, як описано вище. Одну посудину залишимо в кімнаті, а іншу поставимо у холодильник. Помітимо, що за той час, поки у посудині в кімнаті весь розчин набуде одноманітного забарвлення, у посудині в холодильнику рівень розчину купоросу ледве досягне половини посудини. Оскільки явище дифузії пов'язане з хаотичним рухом, то можна сказати, що **температура — це фізична величина, яка характеризує інтенсивність теплового руху атомів чи молекул тіла**. Чим температура вища, тим швидкість руху молекул більша і навпаки. Так, за кімнатної температури швидкість руху молекул газу складає сотні метрів за секунду.

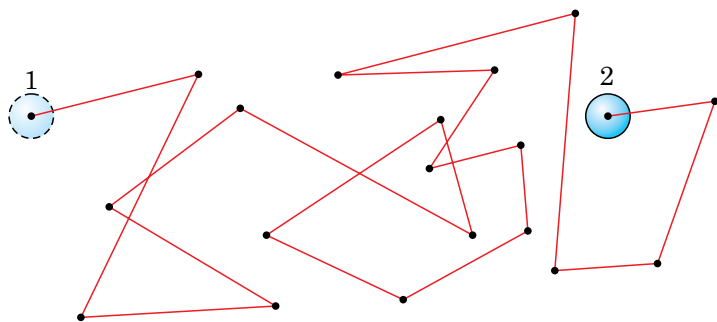


Роберт Броун

У природі, техніці й побуті можна виявити чимало явищ, пов'язаних з дифузією: при фарбуванні тканини частинки фарби проникають у проміжки між частинками тканини, при склеюванні, паянні тощо. Дифузія відіграє важливу роль у житті рослин, тварин і людей. Так, кисень при диханні проникає в організм людини через поверхню легень, поживні речовини з кишківника дифундують у кров, поживні речовини з ґрунту через поверхню коренів надходять до рослин.

Підтвердженням існування та безперервного руху молекул є і так званий *броунівський рух*.

У 1827 р. англійський ботанік **Р. Броун** (1773–1858) спостерігав під мікроскопом рух спор у краплі води: вони безладно рухалися (рис. 24 — спора з положення 1 з часом переходить у положення 2). Рух спор довго пояснити не вдавалося. Сам Броун припускав, що спори рухаються тому, що вони живі. Але пізніше досліди були повторені з дрібно розмеленою фарбою і тушшю. І тільки згодом зрозуміли справжню причину броунівського руху. Ця причина — результат руху молекул води. Молекули води, в якій знаходиться броунівська частинка — спора чи частинка фарби — рухаються й ударяють її з різних боків. Причому з різних боків об частинку вдаряється не однакова кількість молекул і з різними швидкостями, що й призводить до хаотичного руху броунівської частинки.

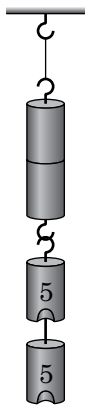


**Рис. 24**

Ми розглянули досліди, які підтверджують той факт, що молекули весь час перебувають у хаотичному русі. Проте особливості цього руху залежать від агрегатного стану речовини. У газах рух молекул цілком хаотичний. Тому гази не зберігають ні форми, ні об'єму, вони займають увесь об'єм посудини. Молекули рідини коливаються відносно деяких положень рівноваги і час від часу стрибкоподібно переміщаються у нові стабільні положення, відносно яких продовжують коливання. Тому рідина зберігає свій об'єм, але набуває форми посудини, в яку вона налита. У твердому тілі атоми (молекули, йони) настільки сильно взаємодіють між собою, що переважно коливаються відносно деяких положень рівноваги, а «пере-

скакування» у нове положення відбувається дуже рідко. Тому тверді тіла зберігають і форму, і об'єм.

**3** Спостереження показують, що тіла не розпадаються на окремі молекули, деякі з них трудно помітно розтягнути або стиснути. Як можна пояснити ці факти? Очевидно, що *молекули притягуються одна до одної*.



**Рис. 25**

Проведемо такий дослід. Візьмемо два свинцеві циліндри, стиснемо їх основами, а потім відпустимо. Циліндри роз'єднаються. Далі, зачистимо основи циліндрів і дослід повторимо. Циліндри злипнуться. Вони не роз'єднуються, якщо навіть до нижнього циліндра підвісити вантаж масою у кілька кілограмів (рис. 25). Цей дослід можна пояснити так: циліндри утримуються разом унаслідок того, що між їхніми частинками діють сили притягання. Чому ці сили не проявлялися, поки ми циліндри не зачистили? Очевидно, поверхні циліндрів мали нерівності, які були усунуті при зачищенні, і до зачищення ми не змогли їх зблизити на малі відстані. Звідси можна зробити висновок, що сили притягання між атомами речовини проявляються тільки на малих відстанях.

Чому ж тоді, хоча між атомами й молекулами діють сили притягання, тіла не суцільні і між частинками існують проміжки? Чому тверді тіла й рідини трудно стиснути? Візьміть олівець або металевий стержень і попробуйте його помітно стиснути. Це зробити вам не вдасться. Причина — між частинками речовини, крім сил притягання, діють також сили відштовхування. Ці сили взаємно зрівноважуються, якщо на тіло не діють зовнішні сили. Взаємодія між атомами і молекулами — сили притягання і сили відштовхування — проявляються тільки на малих відстанях, приблизно таких, як розмір атома. Тому не можна, з'єднавши уламки розбитої чашки, отримати цілу чашку: відстані між уламками все одно будуть великими.



## Запитання для самоперевірки

1. Які основні положення молекулярно-кінетичної теорії?
2. Чи можна побачити окремі атоми та молекули?
3. Яке явище називається дифузією? Наведіть приклади дифузії.
4. Порівняйте швидкість дифузії в газах, рідинах і твердих тілах.
5. Чи пов'язана швидкість дифузії з температурою? Що характеризує температура?
6. Що таке броунівський рух?
7. Про що свідчать дифузія і броунівський рух?
8. Чому тіла самовільно не розпадаються на окремі атоми чи молекули?
9. Наведіть приклади дослідів, на яких можна спостерігати прояв сил притягання і сил відштовхування, що діють між частинками речовини.
10. Чому неможливо відновити розбиту чашку, якщо просто прикласти її уламки один до одного? Чому її можна склеїти?



## Завдання 6

1. Чому дитячі повітряні кульки з часом зменшуються в об'ємі?
2. В якій воді — холодній чи гарячій — цукор розчиняється швидше? Чому?
3. Поясніть, чому частинки крейди, які залишилися на класній дошці після проведення записів, не відпадають від її поверхні.
4. Проведіть наступний дослід. Налийте воду у склянку і опустіть на дно кристалик марганцівки. Спостерігайте за процесом дифузії. Вимірюйте щодня висоту забарвленого стовпа води. Дані спостережень заносьте у зошит. Визначте, через який час забарвиться верхній шар води.
5. Проведіть спостереження дифузії у твердих тілах. Для цього візьміть невелику скляну пластинку, покладіть на неї кристалик марганцівки і покрийте його розплавленим парафіном. Помістіть пластинку в тепле місце і щодня спостерігайте за нею. Визначте, через який інтервал часу буде помітним результат дифузії.





## Розділ II

# МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Питання про те, як і чому рухаються тіла, хвилювало людей з давніх часів. Де опиниться тіло через певний час після початку руху? Що потрібно знати, щоб визначити його положення? Які вимірювання і як їх потрібно провести для того, щоб описати і пояснити «поведінку» тіла? Ці та багато інших питань, що стосуються руху тіла, будуть обговорені у цьому розділі, де ви познайомитеся з різними механічними рухами.

### §12. Механічний рух та його види

✓ Наведіть приклади руху фізичних тіл.

**1** Погляньте навколо. Ви помітите, що предмети, які оточують вас, поводять себе по-різному. Деякі з них перебувають у стані спокою: стіл, за яким ви сидите, дошка, портрети вчених на стіні класу тощо. Інші рухаються: учитель, що демонструє дослід, стрілки годинників, книга, що падає з парти. Поглянувши у вікно, ви побачите ще більше рухомих тіл: автомобілі, велосипеди, пішоходи та ін. Уявіть, що ви знаходитесь у лісі. Тут, здається, рухається все: листя на деревах і навіть їхні стовбури, трава, жуки, бабки, хмари на небі. Усі ці рухи дуже різні. Та об'єднує їх одна спільна властивість: *усі тіла змінюють своє положення у просторі.*

**Зміна положення тіла (або його окремих частин) у просторі відносно інших тіл з плином часу називається механічним рухом.**

**2** Розгляньте рисунок 26. Кулька, прикріплена до нитки у точці С, здійснює різні рухи. Відмітимо на поверхні кульки точки А й С і прослідкуємо, як будуть змінюватися їхні положення під час різних рухів. У ви-

падку а) всі точки рухаються однаково, будь-яка пряма ( $AC$ ), проведена в тілі, зміщується паралельно сама собі. Такий рух називають **поступальним**. У випадку б) кулька (її центр) рухається по колу, а у випадку в) — коливається. Це приклади інших видів механічного руху — **обертального** і **коливального** відповідно.

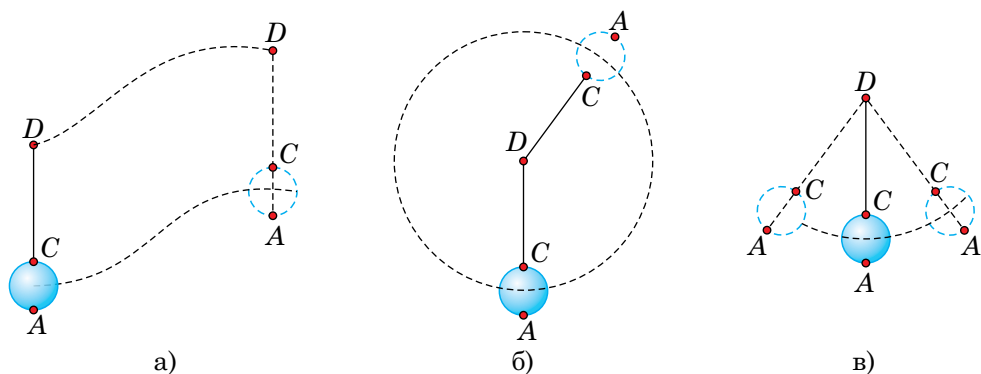


Рис. 26

Можна навести дуже багато прикладів механічного руху. Автомобіль, що рухається по шосе, санчата, що зісковзують з льодяної гірки, літак під час зльоту або посадки — усе це приклади поступального руху. Обертальний рух здійснюють годинна і хвилинна стрілки годинника, людина на каруселі, Місяць навколо Землі. Прикладами коливального руху є рух маятника настінного годинника, хлопчика на гойдалці, струни гітари, що звучить.

Механічний рух — найпростіший вид руху. З іншими, складнішими видами руху ви ознайомитеся на уроках фізики пізніше.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають механічним рухом?
2. Які види механічного руху ви знаєте?
3. До якого виду механічного руху — поступального, обертального чи коливального — належать рухи наступних тіл:  
— поїзд у метро;

- листок осики на вітрі;
- лопаті вентилятора;
- крила метелика, що летить?

Відповідаючи на запитання, намалюйте таблицю з трьох стовпчиків відповідно до трьох різних видів рухів і заповніть її. Доповніть таблицю своїми прикладами.

4. Які прилади потрібні для вивчення руху?
- 5\*. Наведіть приклади рухів, що відрізняються від механічного руху.

### §13. Відносність механічного руху. Тіло відліку

✓ Які види механічного руху вам відомі?

**1** Головна особливість будь-якого руху — його відносність.



Рис. 27

Уявіть собі, що ви сидите у човні і дивитесь на воду в річці (рис. 27). Чи можна впевнено сказати, що човен рухається? Що ви зробите для того, щоб переконалися в цьому? Звичайно ж подивитесь на берег і тоді скажете, рухається човен чи стоїть на місці.

Інший приклад. Ви знаходитесь у вагоні поїзда і під час зупинки дивитесь у вікно на поїзд, що стоїть поряд. Потім ви бачите, що ваш поїзд починає по-

вільно рухатися, і через деякий час із здивуванням бачите, як мимо вас проїхав «хвіст» іншого поїзда, а ваш, виявляється, продовжував увесь час стояти біля тієї самої платформи.

**2** Ці приклади свідчать про те, що робити висновок про рух тіла можна, тільки співставивши його положення з положенням якогось іншого тіла, яке прийнято називати **тілом відліку**.

Отже, **тіло, яке умовно вважається нерухомим і відносно якого вивчається рух досліджуваного тіла, називається тілом відліку**.

Автомобіль рухається відносно шосе або будинків на узбіччі, птах — відносно дерева, візок із вантажем (рис. 28) — відносно стола. А чи рухається вантаж, що знаходиться на візку?

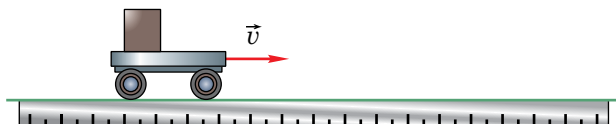


Рис. 28

Так, якщо розглядати його рух відносно стола.

Ні, якщо розглядати його рух відносно візка.

**3** Виявляється, одне і те саме тіло може водночас і рухатися, і перебувати у стані спокою. Це залежить від того, відносно якого тіла відліку розглядається його рух.

Якщо у першому прикладі за тіло відліку прийняти човен, в якому ви сидите, то відносно нього ви перебуваєте у спокої. Якщо ж за тіло відліку прийняти дерево на березі річки, то відносно нього ви рухаєтесь.



### Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади, що ілюструють відносність руху тіл.
2. Що називається тілом відліку?
3. Як ви розумієте твердження: «Рух і спокій відносні»?



### Завдання 7

1. Мотоцикліст рухається по шосе. Відносно якого тіла він перебуває у спокої:
  - а) будинку біля дороги;
  - б) собаки, що вискочив із під'їзду будинку;
  - в) автомобіля, який їде поряд з тією самою швидкістю, що й мотоцикліст;
  - г) пасажирів у колясці мотоцикла?Виберіть правильні відповіді.

2. Придумайте ситуацію, в якій одне й те саме тіло знаходилося б водночас і в русі, і в спокої.
3. Чи зможе космонавт дати відповідь на запитання: рухається космічний корабель чи ні? Як він учинить, розв'язуючи цю проблему?
4. Проведіть такий дослід. Візьміть широку лінійку, поставте її на котки (два олівці або дві ручки). Потім маленький візок поставте на цю лінійку. На стіл, лінійку і візок установіть по прапорцю (рис. 29). Продемонструйте рух і спокій візка відносно стола і лінійки, лінійки відносно стола і візка. Назвіть в усіх випадках тіло відліку.

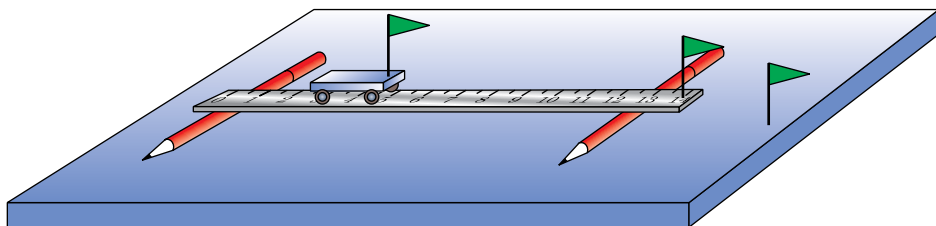


Рис. 29

## §14. Матеріальна точка. Система відліку

- ✓ Чи завжди при визначенні положення тіла у просторі необхідно вказувати положення усіх його точок?

**1** Під час механічного руху тіла його положення відносно тіла відліку змінюється. Причому, різні точки тіла мають різні положення. Але у багатьох випадках немає потреби вказувати положення усіх точок тіла та описувати їхні рухи. Зокрема, за поступального руху літака, автомобіля, корабля та ін. усі точки кожного з цих тіл рухаються однаково, а тому достатньо описати рух якоїсь однієї точки.

Окрім цього, у багатьох випадках можна знехтувати геометричними розмірами тіла порівняно з відстанню, яку воно проходить. У зв'язку з цим вводять поняття **матеріальної точки** і розглядають її рух.

**Матеріальною точкою** називають фізичне тіло, розмірами якого і формою за умов задачі можна знехтувати.



Наприклад, розглядаючи рух спортсмена, який пробігає марафонську дистанцію, спортсмена можна вважати матеріальною точкою. Якщо ж цей спортсмен виконує вправи вранішньої фіззарядки, то вважати його матеріальною точкою не можна. У разі поступального руху будь-яке тіло можна вважати матеріальною точкою.

Для визначення положення матеріальної точки у просторі потрібно з тілом відліку пов'язати *систему координат*. Якщо матеріальна точка рухається вздовж деякої прямої, то її положення визначається однією координатою  $x$  (рис. 30, а). Якщо матеріальна точка рухається у межах деякої площини, наприклад, шматок крейди під час проведення записів на дошці, то система координат складається з двох взаємно перпендикулярних осей і положення матеріальної точки характеризується двома координатами  $x$  та  $y$  (рис. 30, б). Якщо ж, наприклад, під час польоту літака змінюється його висота відносно Землі і напрям руху, то доводиться з тілом відліку пов'язувати три взаємно перпендикулярні осі координат і вводити три координати  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (рис. 30, в).

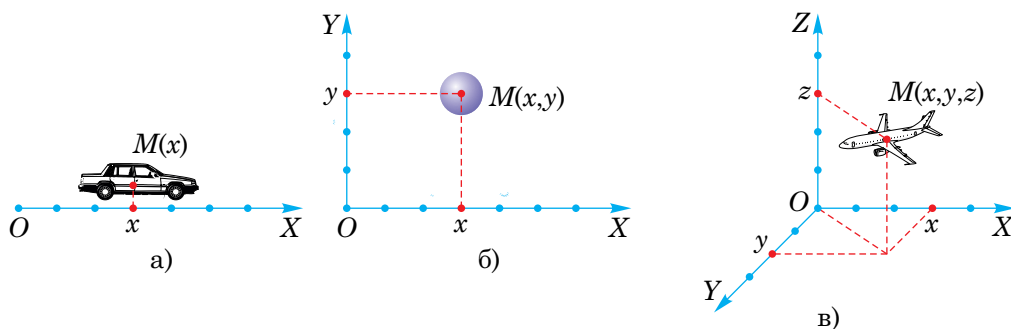


Рис. 30

Під час руху тіла його координати з часом змінюються. Щоб описати цю зміну, потрібно з тілом відліку, крім системи координат, пов'язати ще й прилад для вимірювання часу — *годинник*. Іншими словами, необхідно ввести *систему відліку*.

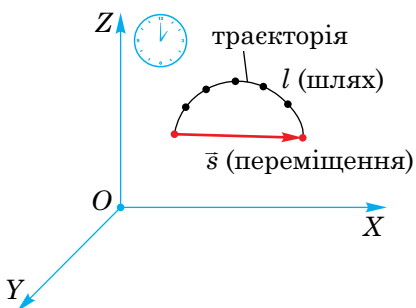


Рис. 31

Під *системою відліку* розуміють пов'язані з тілом відліку систему координат, що служить для визначення положення тіла у просторі, та годинник, який слугує для вимірювання часу (рис. 31).

Описати рух тіла — означає з'ясувати, як змінюються з часом його координати відносно обраної системи відліку.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називається матеріальною точкою?
2. Які з тіл можна вважати матеріальними точками у наступних випадках рухів:
  - Юпітер рухається навколо Сонця по орбіті;
  - поїзд їде зі Львова до Києва;
  - спортсмен виконує різні вправи на турніку;
  - Земля обертається навколо власної осі?
3. Наведіть приклади різних годинників.
4. Дайте визначення системи відліку.

## §15. Траєкторія. Шлях. Переміщення

✓ Чи всі фізичні тіла при русі залишають за собою видимі сліди?

**1** Як уже зазначалося, при вивченні руху тіла важливо знати, як змінюється його положення (координати) з часом.

Деякі тіла під час руху залишають за собою видимий слід. Це, наприклад, слід лижника, що біжить по свіжому снігу (рис. 32), слід метеора, що пролетів по небі (рис. 33), слід кінчика олівця, що рухається по чистому аркуші паперу (рис. 34). Такий слід, точніше, **лінію, вздовж якої рухається тіло, називають траєкторією руху**. Залежно від форми

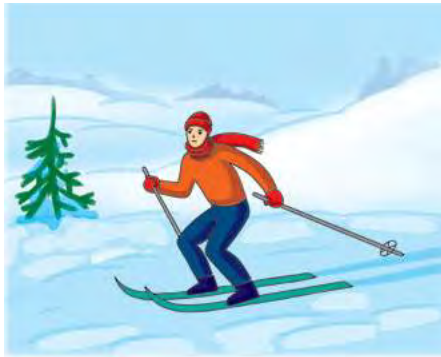


Рис. 32



Рис. 33

траєкторії, рухи поділяють на прямолінійні та криволінійні. Очевидно, що у більшості випадків траєкторію побачити неможливо.

Траєкторія відносна, її форма залежить від вибору системи відліку, відносно якої розглядається рух. Так, відносно системи відліку, пов'язаної з віссю колеса велосипеда ( $K'$ ), що рухається вздовж прямолінійної ділянки дороги, будь-яка точка ободу його колеса описує коло, а відносно системи відліку, пов'язаної із Землею ( $K$ ) — складнішу лінію (циклоїду) (рис. 35).

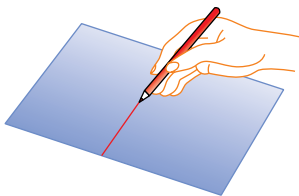


Рис. 34

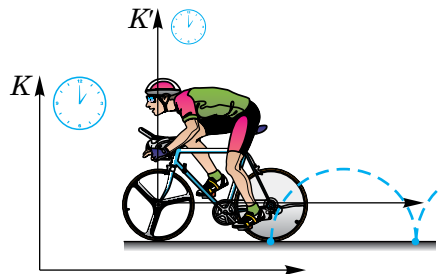


Рис. 35

**2** Знаючи траєкторію руху матеріальної точки, можна визначити пройдений нею шлях. Для цього потрібно виміряти довжину ділянки траєкторії між початковим та кінцевим її положеннями. Такі вимірювання можна здійснити за допомогою лінійки, мірної стрічки тощо. Шлях, про-

йдений автомобілем упродовж деякого інтервалу часу, зазвичай визначають як різницю кінцевого і початкового показів спеціального лічильника, встановленого на *спідометрі* (рис. 39). Отже, **пройдений шлях** — це довжина ділянки траєкторії, описаної матеріальною точкою або тілом упродовж певного інтервалу часу (див. рис. 31).

Пройдений шлях, або просто шлях, — це фізична величина, її прийнято позначати латинською літерою  $l$ . Шлях з плином часу може тільки збільшуватися або залишатися величиною сталою, якщо тіло перебуває у спокої. Певного напрямку у просторі шлях не має. Такі фізичні величини, які характеризуються лише числовим значенням або величиною і певного напрямку у просторі не мають, називаються скалярними величинами або просто **скалярами**. Отже, шлях — *скаляр*.

Для вимірювання пройденого шляху служить основна одиниця довжини — *метр* (1 м). На практиці використовують й інші одиниці шляху: *кілометр* (1 км = 1000 м =  $10^3$  м), *сантиметр* (1 см = 0,01 м =  $10^{-2}$  м), *міліметр* (1 мм = 0,1 см =  $10^{-3}$  м).

**3** Якщо відомо початкове положення тіла, то для визначення його наступного положення знати тільки пройдений ним шлях недостатньо. Якщо,

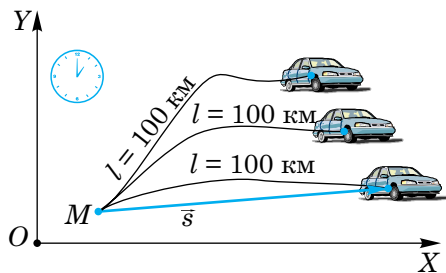


Рис. 36

наприклад, автомобіль за годину проїхав  $l = 100$  км, то встановити, де він буде через годину лише за цими даними неможливо, адже автомобіль міг рухатися на північ, південь, схід, захід тощо (рис. 36). Для цього потрібно знати ще й напрям руху: з'єднати початкове і кінцеве положення тіла прямою лінією і стрілкою вказати напрям його руху (див. рис. 31).

У зв'язку з цим вводять нову фізичну величину — *переміщення* тіла. **Переміщення** — **величина векторна**. Векторні величини, крім числового значення, мають ще й певний напрям у просторі. Їх позначають відповідними буквами зі стрілкою зверху. Вектор переміщення позначається  $\vec{s}$ . Запис  $|\vec{s}|$  або просто  $s$  означає модуль вектора переміщення, тобто

його числове значення або довжину. Переміщення вимірюють у тих самих одиницях, що й шлях. Переміщення не єдина векторна фізична величина. З іншими векторними величинами ви ознайомитеся при подальшому вивченні фізики.

Отже, переміщення матеріальної точки (або тіла) — це вектор, що сполучає її (його) початкове положення з наступним (див. рис. 31).



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають траєкторією руху?
2. Чи можна побачити траєкторію руху трамвая, тролейбуса, корабля, літака?
3. Яку фізичну величину називають шляхом?
4. Яку фізичну величину називають переміщенням?
5. Які одиниці шляху та переміщення?
6. Чим відрізняються векторні фізичні величини від скалярних?



### Завдання 8

1. Чи залежить форма траєкторії руху тіла від вибору системи відліку?
2. Чи може шлях, пройдений тілом, з плином часу зменшуватися, збільшуватися, не змінюватися? Наведіть приклади.
3. М'яч кинули під кутом до горизонту, після чого він упав на Землю. Як практично виміряти його переміщення?
4. Автомобіль виїхав з гаража і після розвезення пошти повернувся назад. Чому дорівнює переміщення автомобіля? Як практично шофер може визначити пройдений автомобілем шлях?
- 5\*. Чи справджується рівність  $s = l$ , де  $s$  — переміщення тіла,  $l$  — шлях? Відповідь обґрунтувати, навести приклади.



## §16. Рівномірний прямолінійний рух та його швидкість

- ✓ Назвіть можливі одиниці швидкості руху тіла.
- ✓ Наведіть приклади фізичних величин, пов'язаних між собою прямою пропорційною залежністю.

**1** Серед різноманітних механічних рухів найпростішим є рівномірний рух тіла. **Рівномірним** називають такий рух, за якого тіло впродовж будь-яких однакових інтервалів часу проходить однакові шляхи.

Наприклад, якщо поїзд на досить довгому перегоні проходить за кожну годину 60 км, за кожні півгодини 30 км, за кожну хвилину 1 км і т.д., то його рух рівномірний. Рівномірний рух можна спостерігати на досліді з рухомим візком, на якому встановлена крапельниця (рис. 37). Через рівні інтервали часу з крапельниці падають краплі. Вимірявши відстані між слідами двох сусідніх крапель, можна помітити, що вони однакові. Це означає, що візок рухається рівномірно вздовж прямої лінії. Такий рух називають *рівномірним прямолінійним рухом*. Рівномірний рух може відбуватися не тільки вздовж прямої. Так, наприклад, стрілки годинника також рухаються рівномірно, але кожна їхня точка описує кола з різними радіусами.

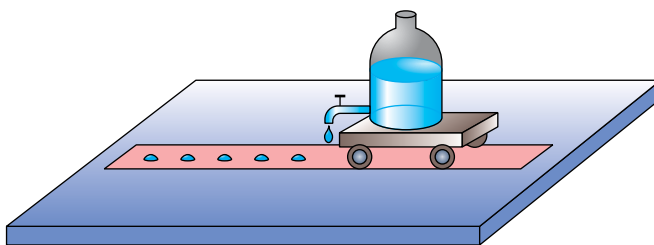


Рис. 37

Далі, ми будемо вивчати у цьому параграфі тільки рівномірний прямолінійний рух.

**Рівномірним прямолінійним рухом** називають такий рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення.

**2** Уявімо собі, що з пункту *A* до пункту *B* рівномірно рухаються автомобіль, велосипедист і пішохід (рис. 38).

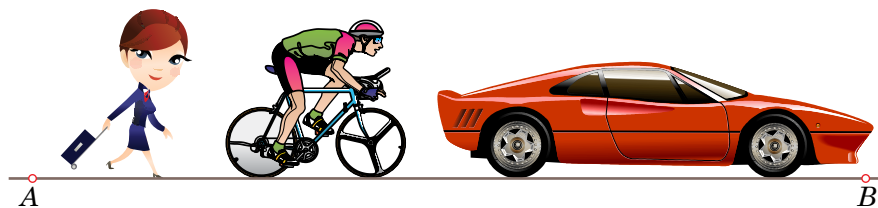


Рис. 38

Хоча усі три рухи є рівномірними, вони зазвичай відрізняються один від одного: автомобіль рухається найшвидше і першим приїде до пункту *B*; потім туди приїде велосипедист і, нарешті, дійде пішохід. Отже, рухи цих тіл відрізняються темпом руху, інакше кажучи, **швидкостями**.

**3** Для визначення швидкості рівномірного руху тіла потрібно поділити шлях, пройдений тілом, на час, упродовж якого цей шлях був пройдений:

$$\text{швидкість} = \frac{\text{шлях}}{\text{час}}.$$

Якщо тіло рухається прямолінійно і при цьому **не змінює напрям руху**, то, очевидно, модуль його переміщення (*s*) дорівнює пройденому шляху (*l*).

Швидкість — це векторна фізична величина, оскільки вона, крім числового значення, має ще й напрям. На рисунках напрям швидкості руху тіла вказують стрілкою. Швидкість позначають  $\vec{v}$ , переміщення —  $\vec{s}$  і час — *t*. Тому можна записати формулу для знаходження швидкості

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

У вказаному вище випадку рівномірного прямолінійного руху  $s = l$ , і для величини (модуля) швидкості можна записати:

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

тобто швидкість тіла показує, який шлях воно проходить за одиницю часу або яке переміщення воно здійснює за одиницю часу.

**4** За одиницю швидкості приймають швидкість такого рівномірного прямолінійного руху, за якого тіло впродовж 1 с здійснює переміщення 1 м.

Основною одиницею швидкості є метр за секунду (**1 м/с**). Окрім неї можливі й інші: міліметр за секунду (**1 мм/с**), сантиметр за секунду (**1 см/с**), кілометр за годину (**1 км/год**).

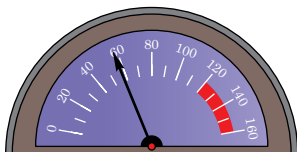


Рис. 39

Швидкість руху транспортних засобів прийнято виражати в км/год. Наприклад, швидкість автомобіля — 60 км/год, швидкість велосипедиста — 20 км/год. А ось швидкість равлика зручніше вимірювати у менших одиницях; так, швидкість виноградного равлика становить біля 1,5 мм/с.

Швидкість автомобіля вимірюють спеціальним приладом — *спідометром* (рис. 39).

## **5** Приклад розв'язування задачі.

Чи зможе людина перегнати вітер, якщо відомо, що спортивну дистанцію 1500 м вона пробігає за 4 хв 10 с? Швидкість помірного вітру дорівнює приблизно 6 м/с, а швидкість штормового вітру складає біля 21 м/с.

Перш ніж розв'язувати задачу, зверніть увагу на одиниці часу. У таких випадках потрібно виразити час в однакових одиницях, краще в секундах, оскільки секунда — основна одиниця часу.

$$4 \text{ хв } 10 \text{ с} = 4 \cdot 60 \text{ с} + 10 \text{ с} = 250 \text{ с}.$$

Уведемо позначення:

$v$  — швидкість людини, що біжить;

$v_1$  — швидкість помірного вітру;

$v_2$  — швидкість штормового вітру.

Пригадаємо, що шлях позначається буквою  $l$ , а час — буквою  $t$ .

Скорочений запис умови задачі і її розв'язування здійснюється так.

Дано:	СИ	Розв'язування.
$l = 1500 \text{ м}$		Згідно з визначенням швидкість людини дорівнює $v = \frac{l}{t}$ ;
$t = 4 \text{ хв } 10 \text{ с}$	250 с	
$v_1 = 6 \text{ м/с}$		
$v_2 = 21 \text{ м/с}$		$v = \frac{1500 \text{ м}}{250 \text{ с}} = 6 \text{ м/с}.$
$v = ?$		

Відповідь.  $v = 6 \text{ м/с}$ . Отже:

- 1) людина не зможе перегнати штормовий вітер:  $v < v_2$ ;
- 2) людина не зможе перегнати помірний вітер, але її швидкість може приблизно дорівнювати швидкості такого вітру:  $v \approx v_1$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух називається рівномірним прямолінійним рухом?
2. Що показує швидкість за рівномірного прямолінійного руху? За якою формулою можна її розрахувати?
3. Які фізичні величини називають векторними?
4. Чому швидкість руху є векторною фізичною величиною?
5. Які одиниці швидкості ви знаєте?
6. Яким приладом можна виміряти швидкість автомобіля?



### Завдання 9

1. Хто рухається швидше: велосипедист, швидкість якого становить 18 км/год, чи ковзаняр, швидкість якого 10 м/с?
2. За течією ріки рівномірно пливе пліт зі швидкістю 1,2 м/с. Який шлях відносно берега він пропливе за 20 хв?
3. Як ви вважаєте, швидкість 1 м/с — це велика чи мала швидкість?

4\*. Розгляньте формулу  $v = \frac{s}{t}$ . Чи можна вважати, що швидкість рівномірного прямо-  
лінійного руху залежить від переміщення тіла і часу руху? Відповідь обґрунтуйте.

## §17. Рівняння руху. Графіки рівномірного прямолінійного руху

**1** Як бачимо з формул для визначення швидкості, наведених у попередньому параграфі, якщо відома швидкість рівномірного прямолінійного руху тіла, то пройдений ним шлях можна визначити за формулою:

$$l = vt.$$

Для переміщення маємо аналогічну формулу:

$$s = vt.$$

Легко також записати і залежність координати від часу, обравши координатну вісь уздовж напрямку руху тіла (рис. 40):

$$x = x_0 + s,$$

або

$$x = x_0 + vt,$$

де  $x_0$  — початкова координата тіла.

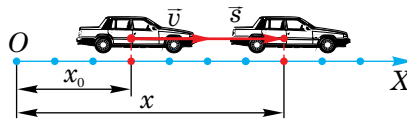


Рис. 40

Якщо тіло рухається протилежно до напрямку обраної осі  $OX$ , то остання залежність набуває вигляду:

$$x = x_0 - vt.$$

Наведені вище три останні рівняння називають *рівняннями рівномірного прямолінійного руху тіла*.



**2** З метою унаочнення і кращого розуміння закономірностей рівномірного прямолінійного руху побудуємо графік залежності координати тіла від часу, який називають **графіком руху** тіла. Розглянемо наступний приклад. Нехай у початковий момент координата автомобіля становила 4 м ( $x_0 = 4$  м), а швидкість руху дорівнювала 0,5 м/с і з часом не змінювалася. Тоді рівняння його руху матиме вигляд:

$$x = 4 + 0,5t.$$

У математиці, як відомо, таку залежність називають лінійною функцією і її графіком буде пряма лінія. Для побудови останньої досить спочатку на графік нанести положення двох будь-яких точок, а потім через них провести пряму. При  $t = 0$ ,  $x = 4$  м, при  $t = 2$  с,  $x = 5$  м. На рис. 41 зображено графік руху автомобіля.

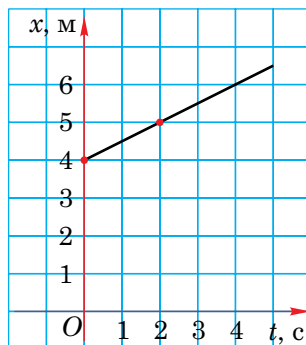


Рис. 41

**3** Для розглядуваного випадку можна також побудувати графік залежності шляху від часу, який виражається формулою:

$$l = 0,5t,$$

що є прямою пропорційною залежністю. Її графіком, як відомо, є пряма лінія. При  $t = 0$ ,  $l = 0$ ; при  $t = 4$  с,  $l = 2$  м. Відповідний *графік шляху* зображено на рис. 42, а). Для тіла, швидкість якого більша ніж 0,5 м/с, графік шляху йтиме стрімкіше (рис. 42, б), так само йде графік залежності модуля переміщення  $s$  від часу  $t$ .

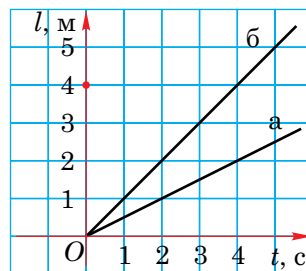


Рис. 42

**4** *Графік швидкості.* Для будь-якого моменту часу швидкість  $v = 0,5$  м/с. Відповідний графік зображено на рис. 43.

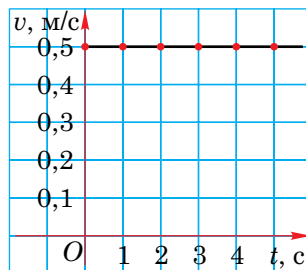


Рис. 43



## Запитання для самоперевірки

1. Що таке рівняння руху? Як його можна записати для рівномірного прямолінійного руху?
2. Що таке графік руху тіла?
3. Як можна графічно зобразити залежність координати від часу для тіла, яке рухається рівномірно прямолінійно?
4. Який вигляд має графік шляху для рівномірного прямолінійного руху?



## Завдання 10

1. Визначте швидкість тіла, графік шляху якого зображено на рис. 42 лінією б.
- 2\*. Визначте шлях, пройдений тілом за 4 с, скориставшись графіком швидкості (рис. 43).

## §18. Нерівномірний прямолінійний рух. Середня швидкість

- ✓ Який механічний рух називають рівномірним?
- ✓ Як визначити швидкість тіла під час рівномірного руху?

**1** Рівномірний рух зустрічається в природі нечасто. Строго кажучи, ідеально рівномірно не може рухатися жодне тіло, але можна створити такі умови, за яких рух відбуватиметься практично рівномірно. Спробуйте уявити собі, за яких умов автомобіль міг би рухатися рівномірно із пункту *A* до пункту *B* (див. рис. 38). Це могло б бути лише у тому разі, якби він ніде не гальмував, ніде не зупинявся, уже в початковому пункті, тобто на старті, їхав зі швидкістю  $\vec{v}$  і проїхав пункт *B* з тією самою швидкістю. Такий рух і справді можливий, але тільки на деякій ділянці шляху автомобіля.

Будь-яке тіло, рушаючи з місця, розганяється; миттєво зупинитися воно також не може. Уявіть собі рух поїзда чи автомобіля, рух птаха або свій власний рух зі школи додому. На деякій ділянці шляху можна ру-

хатися швидше або повільніше, деś доведеться зупинитися (наприклад, перед світлофором) і знову продовжити рух далі. Це все приклади **нерівномірного руху**.

**2** За нерівномірного руху швидкість тіла змінюється, оскільки пройдений ним шлях за однакові інтервали часу буде різним на різних ділянках траєкторії. Проробимо дослід з візком, на якому встановлена крапельниця. Приведемо його поштовхом у рух. Пройшовши певну відстань, візок зупиниться. Вимірявши відстані між слідами від крапель, які падають через рівні проміжки часу з крапельниці, ми побачимо, що ці відстані з часом зменшуються (рис. 44).

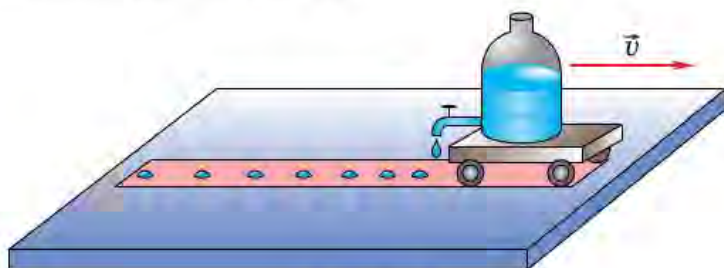


Рис. 44

**3** Про які ж швидкості йдеться, коли називають числове значення швидкості, наприклад, поїзда, який рухається зі Львова до Києва, або літака, що летить з Донецька в Сімферополь?

У випадках, коли потрібно взяти швидкість нерівномірного руху, знаходять значення **середньої швидкості** руху тіла по траєкторії ( $v_c$ ). Для цього необхідно весь шлях  $l$ , пройдений тілом, поділити на весь час  $t$  його руху:

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

Ця швидкість є величиною **скалярною**.

У таблиці 2 наведено значення деяких швидкостей руху, що зустрічаються у природі й техніці.

## Середні швидкості руху, м/с

Равлик	0,0015	Поїзд «Hyundai»	77
Муха	5	Літак АН-140	266
Горобець	10	Винищувач МіГ-29	2200
Заєць	17	Місяць навколо Землі	1000
Лев	18	Земля навколо Сонця	30 000
АвтоЗАЗ Ланос	40	Світло у вакуумі	300 000 000

**4 Приклад розв'язування задачі.**

Товарний поїзд проходить перші 10 км за півгодини, наступні 10 км — за 20 хв і ще 10 км — за 10 хв. Чому дорівнює середня швидкість поїзда на всьому шляху?

Дано:

$$l_1 = l_2 = l_3 = 10 \text{ км}$$

$$t_1 = 0,5 \text{ год}$$

$$t_2 = 20 \text{ хв}$$

$$t_3 = 10 \text{ хв}$$

$$v_c = ?$$

СИ

$$\frac{1}{3} \text{ год}$$

$$\frac{1}{6} \text{ год}$$

Розв'язування.

За визначенням, середня швидкість дорівнює

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

де  $l$  — увесь пройдений поїздом шлях:  $l = l_1 + l_2 + l_3$ ;  $t$  — увесь час руху поїзда:  $t = t_1 + t_2 + t_3$ .

Отже:

$$v_c = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{t_1 + t_2 + t_3},$$

$$v_c = \frac{10 \text{ км} + 10 \text{ км} + 10 \text{ км}}{0,5 \text{ год} + \frac{1}{3} \text{ год} + \frac{1}{6} \text{ год}} = \frac{30 \text{ км}}{1 \text{ год}} = 30 \text{ км/год.}$$

Відповідь.  $v_c = 30 \text{ км/год.}$





## Запитання для самоперевірки

1. Який рух називають нерівномірним?
2. Наведіть приклади нерівномірного руху.
3. Яка швидкість характеризує нерівномірний рух?
4. Як визначають середню швидкість нерівномірного руху?



## Завдання 11

1. Велосипедист за перші 10 с проїхав 40 м, за наступні 20 с — 200 м і за останні 10 с — 80 м. Знайдіть середню швидкість велосипедиста на кожній ділянці і на всьому шляху.
2. Скориставшись графіком залежності швидкості руху тіла від часу (рис. 45), визначте його середню швидкість за 8 с руху.
3. Скориставшись таблицею 2, складіть задачу на визначення середньої швидкості. Запишіть її умову і розв'язок.
4. Визначте середню швидкість піднімання ліфта у вашому будинку, використовуючи метод оцінювання (див. прим. на с. 25).

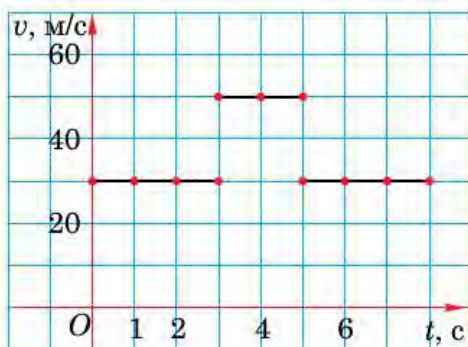


Рис. 45

## §19\*. Рівноприскорений рух. Прискорення

- ✓ У чому полягає відмінність між рівномірним і нерівномірним рухами?
- ✓ Яку фізичну величину називають векторною?

**1** Швидкість тіла під час різних прямолінійних нерівномірних рухів може змінюватися з плином часу по-різному.

**Рух, під час якого швидкість тіла за будь-які рівні інтервали часу змінюється на однакову величину, називається *рівноприскореним*.**



Санчата, які зісковзують з крутої льодяної гірки; камінь, що падає на землю; поїзд, що розпочинає рух або гальмує перед зупинкою, — усе це приклади рівноприскореного руху.

**2** Під час рівноприскореного руху швидкості одних тіл можуть змінюватися дуже швидко, швидкості ж інших тіл змінюються повільно. Так, швидкість поїзда впродовж кількох хвилин може збільшитися на 50–100 м/с, а швидкість ракети при запуску — на 2–5 км/с. Щоб охарактеризувати темп зміни швидкості під час рівноприскореного руху тіла, вводять спеціальну фізичну величину — **прискорення**.

Прискорення — це фізична величина, що дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до інтервалу часу, впродовж якого ця зміна відбулася:

$$\text{прискорення} = \frac{\text{зміна швидкості}}{\text{час}}.$$

Прискорення показує, на скільки змінилася (збільшилася чи зменшилася) швидкість руху тіла за одиницю часу.

Прискорення позначають літерою  $a$ . Запишемо формулу для обчислення прискорення:

$$a = \frac{v - v_0}{t},$$

де  $v_0$  — початкова швидкість тіла,  $v$  — його швидкість у момент часу  $t$ .

**3** Основною одиницею прискорення є метр за секунду в квадраті ( $1 \text{ м/с}^2$ ).

За одиницю прискорення прийнято прискорення такого рівноприскореного руху, за якого впродовж 1 с швидкість тіла змінюється на 1 м/с, тобто,  $1 \text{ м/с} : 1 \text{ с} = 1 \text{ м/с}^2$ .

Наприклад, якщо мотоцикліст рухається з постійним прискоренням  $5 \text{ м/с}^2$ , це означає, що його швидкість за 1 с змінюється на 5 м/с.

**4** Прискорення, так само як і швидкість, має напрям, отже, прискорення є *векторною фізичною величиною* ( $\vec{a}$ ). Якщо прискорення напрямлено у тому самому напрямі, що й швидкість лижника (рис. 46), то з часом його швидкість руху збільшується. Під час гальмування автомобіля прискорення має напрям, протилежний до напрямку швидкості руху, і його швидкість з часом зменшується.



Рис. 46

**5** Якщо відомі прискорення і початкова швидкість рівноприскореного руху, можна знайти швидкість тіла у будь-який момент часу. Для цього помножимо на  $t$  обидві частини рівняння  $a = \frac{v - v_0}{t}$ , отримаємо  $at = v - v_0$ ,

$$v = v_0 + at,$$

якщо швидкість збільшується, і

$$v = v_0 - at,$$

при зменшенні швидкості з часом.

### 6 Приклад розв'язування задачі.

Автомобіль починає рухатися зі стану спокою з прискоренням  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

Через який проміжок часу він досягне швидкості  $20 \text{ м/с}$ ?

Дано:

$$v_0 = 0$$

$$v = 20 \text{ м/с}$$

$$a = 0,4 \text{ м/с}^2$$

$$t = ?$$

Розв'язування.

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Оскільки  $v_0 = 0$ , то  $t = \frac{v}{a}$ ;

$$t = \frac{20 \text{ м/с}}{0,4 \text{ м/с}^2} = 50 \text{ с}.$$

Відповідь.  $t = 50 \text{ с}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух називається рівноприскореним?
2. Що характеризує прискорення?
3. Назвіть основну одиницю прискорення. Як ви думаєте, чи можуть існувати інші одиниці прискорення?
4. Як ви розумієте вираз: «Прискорення — векторна величина».
5. Як змінюється швидкість тіла, якщо вектор його прискорення має напрям, протилежний до напрямку швидкості? Наведіть приклад.



### Завдання 12

1. Запишіть формулу для визначення швидкості тіла, яке рухається рівноприскорено і його рух розпочався зі стану спокою.
2. Велосипедист з'їжджає з гори з прискоренням  $0,5 \text{ м/с}^2$ . Чому дорівнюватиме його швидкість через  $30 \text{ с}$ , якщо початкова швидкість велосипедиста складала  $3 \text{ м/с}$ ?



- 3\*. В одній системі координат ( $v, t$ ) побудуйте графіки залежності швидкості руху від часу для двох тіл. Перше тіло рухається з прискоренням  $2 \text{ м/с}^2$  і початковою швидкістю, що дорівнює нулю, а друге — з прискоренням  $0,5 \text{ м/с}^2$  і початковою швидкістю  $3 \text{ м/с}$ . Визначте за графіками, через який проміжок часу швидкості цих тіл будуть однаковими.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропонований в електронному додатку тест № 2.

## §20. Рівномірний рух матеріальної точки по колу

✓ Навести приклади руху матеріальної точки по колу.

**1** До цього часу ми розглядали лише прямолінійний рух, який порівняно рідко зустрічається у природі й техніці. Значно частішими є криволінійні рухи.

*Криволінійним називають рух матеріальної точки вздовж певної криволінійної траєкторії.* Прикладами криволінійних рухів тіл є: рух планет і комет орбітами навколо Сонця, рух снаряда після його вилітання зі ствола гармати, рух різних транспортних засобів на поворотах тощо.

Найпростішим із криволінійних рухів є так званий рівномірний рух матеріальної точки по колу, який далі ми розглянемо. Навіть у випадку довільного криволінійного руху тіла можна вважати, що його траєкторія складається з дуг кіл із різними радіусами  $R_1, R_2, R_3$  і т.д. (рис. 47). До того ж, рухи по колу досить поширені: по колах рухаються точки поверхні Землі

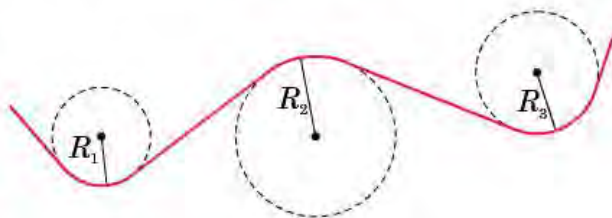


Рис. 47

під час її добового обертання навколо власної осі; точки деталі при її обточуванні на токарному верстаті; точки дзиги під час її обертання та ін.

**2** Як напрямлена швидкість матеріальної точки під час її рівномірного руху по колу? Для відповіді на це запитання пригадаймо, куди летять іскри при гострінні інструмента на точилі (рис. 48) або куди летять бризки від колеса автомобіля, який забуксував у калюжі (рис. 49). Із цих прикладів можна зробити висновок, що під час руху матеріальної точки по колу її швидкість напрямлена по дотичній до кола (рис. 50).

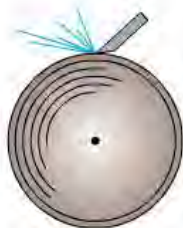


Рис. 48



Рис. 49

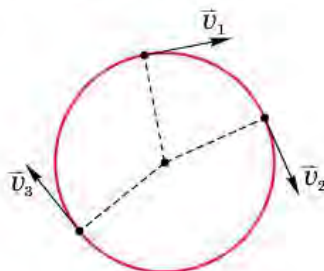


Рис. 50

Рівномірний рух по колу — це рух з постійною за модулем швидкістю:  $v_1 = v_2 = v_3$ .

Проте це не означає, що рух відбувається без прискорення, адже напрям вектора швидкості весь час змінюється:  $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2 \neq \vec{v}_3$ .

**3** Інтервал часу, впродовж якого тіло здійснює один повний оберт, називається *періодом обертання*. Період позначають літерою  $T$ . Основною одиницею періоду є секунда; його також можна вимірювати у хвилинах, годинах, добах і роках. Наприклад, період обертання Землі навколо власної осі дорівнює одній добі, період обертання хвилинної стрілки годинника становить одну годину.

Якщо тіло за час  $t$  зробило  $N$  обертів, то, очевидно, його період можна знайти за формулою:

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



Рух по колу часто характеризують частотою обертання. **Частота обертання** — це кількість обертів, здійснених тілом за одиницю часу. Її позначають літерою  $n$ . Частоту можна обчислити так:

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

За основну одиницю частоти обертання прийнято оберт за секунду (об/с)  
або  $\frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$ .

З наведених вище формул можна зробити висновок, що період і частота є взаємно оберненими величинами:

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

**4** Нехай матеріальна точка, рівномірно рухаючись по колу з радіусом  $R$ , здійснила один повний оберт. Тоді пройдений нею шлях дорівнює довжині кола:  $l = 2\pi R$ , а час руху дорівнює періоду обертання:  $t = T$ . Тоді можна знайти швидкість:  $v = \frac{l}{t}$ , або

$$v = \frac{2\pi R}{T}.$$

Цю швидкість інакше називають *лінійною швидкістю*. Якщо в останній формулі замінити  $T$  на  $\frac{1}{n}$ , отримаємо вираз для лінійної швидкості:  
$$v = 2\pi Rn.$$



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух матеріальної точки називають криволінійним? Наведіть приклади криволінійних рухів.
2. Який рух називається рівномірним рухом по колу? Наведіть приклади руху по колу.
3. Чи має матеріальна точка прискорення, якщо вона рухається зі сталою за модулем швидкістю по колу? Чому?

4. Що називають періодом обертання? В яких одиницях він вимірюється?
5. Що називається частотою обертання? Які одиниці частоти ви можете назвати?
6. Як пов'язані між собою період і частота обертання?
7. Як напрямлена лінійна швидкість під час руху матеріальної точки по колу? Як у цьому можна переконатися?
8. Як пов'язані між собою лінійна швидкість, радіус кола і період обертання?



### Завдання 13

1. У скільки разів період обертання хвилинної стрілки годинника менший за період обертання годинної стрілки?
2. Чому дорівнює шлях, пройдений кінцем хвилинної стрілки будильника за 20 хв, якщо її довжина 2,4 см?
3. Колесо здійснило 50 обертів за 5 с. Визначте його період і частоту обертання.
- 4\*. Обчисліть лінійну швидкість точок екватора Землі у км/год і м/с відносно системи відліку, пов'язаної із Землею, і відносно системи, пов'язаної з нерухомими зорями. Радіус Землі прийняти рівним 6400 км.
- 5\*. Автомобіль їде зі швидкістю 72 км/год. Визначте період обертання його колеса з діаметром 70 см.



### Лабораторна робота № 4

#### Визначення періоду обертання, частоти та швидкості руху по колу

**Мета роботи.** Навчитися визначати період, частоту обертання та лінійну швидкість тіла під час рівномірного руху по колу.

**Обладнання.** 1. Секундомір або годинник із секундною стрілкою. 2. Лінійка із міліметровими поділками.

#### *Хід роботи*

1. Ознайомтеся зі шкалами лінійки та секундоміра, визначте ціну поділки шкал цих приладів. Пустіть у хід секундомір і визначте час  $t$  повних обертів  $N$  стрілки. Дані в міру проведення вимірювань і обчислень заносьте у звітну





таблицю. За відповідними формулами обчисліть період  $T = \frac{t}{N}$  і частоту обертання стрілки  $n = \frac{N}{t}$ . За абсолютну похибку вимірювання візьміть половину ціни поділки шкали приладу.

2. Виміряйте довжину секундної стрілки секундоміра або годинника. Це і буде радіус  $R$  кола, по якому рухається точка кінця стрілки.

3. Визначте лінійну швидкість точки кінця стрілки за формулою  $v = \frac{2\pi R}{T}$ .

$N$	$t \pm \Delta t, \text{ c}$	$T \pm \Delta T, \text{ c}$	$n \pm \Delta n, 1/\text{c}$	$R \pm \Delta R, \text{ cm}$	$v, \text{ cm/c}$

## §21. Коливальний рух. Маятники

✓ Що називають механічним рухом?

**1** Раніше були розглянуті прямолінійні рівномірний і нерівномірний рухи і рух тіла по колу. Існує ще один вид механічного руху — *механічні коливання*.

Механічні коливання вам неодноразово доводилося спостерігати. Коливаються гойдалки, гілки дерев і листя під дією вітру, струни музичних інструментів і голосові зв'язки людини, коли вони породжують звук, маятники годинників, поршні у двигунах автомобілів та ін.

**Механічними коливаннями називають рухи тіл, які точно або приблизно повторюються через певні інтервали часу.**

**2** Для того, щоб тіло здійснювало коливання, воно повинно входити до складу *коливальної системи*. Прикладами найпростіших коливальних систем є тягарець, підвішений на пружині, разом із Землею і штативом (*пружинний маятник* — рис. 51) та маленька кулька, підвішена на довгій нитці (*математичний маятник*), разом зі штативом і Землею (рис. 52). **Математичним маятником називаються тіло, підвішене на довгій нитці, розміри якого набагато менші за довжину нитки.** Вважається, що нитка нерозтяжна та невагома і тіло (кульку) можна вважати матеріальною точкою.

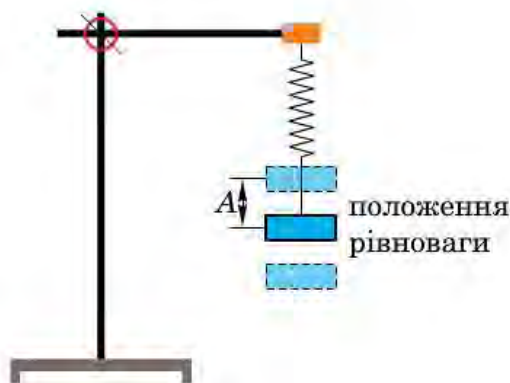


Рис. 51

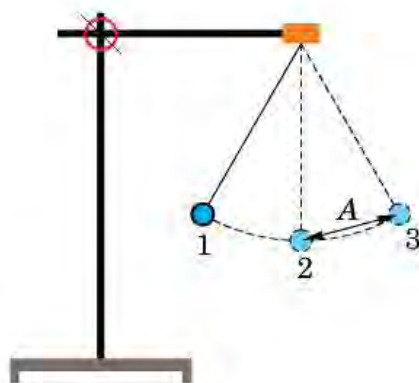


Рис. 52



Відхилення маятника від положення рівноваги називають *зміщенням* тіла; його позначають літерою  $x$ , вимірюють у метрах, сантиметрах або міліметрах.

**Найбільше зміщення маятника від положення рівноваги називають *амплітудою коливань* ( $A$ ).**

Під час коливань зміщення змінюється від нуля до свого максимального значення:  $0 \leq x \leq A$ .

Коливання, які відбуваються тільки внаслідок взаємодії тіл коливальної системи між собою називаються **вільними** механічними коливаннями. Вільні коливання математичного маятника можна викликати, вивівши кульку з положення рівноваги, а потім відпустивши її. Викликати коливання пружинного маятника можна, змістивши тягарець вгору або вниз і відпустивши його.

Якщо ж під час здійснення коливань тіло, що коливається, зазнає періодичної дії з боку тіл, які не входять до складу коливальної системи, то такі коливання називаються **вимушеними**. Прикладами вимушених коливань є коливання гойдалки з людиною, яку хтось час від часу підштовхує, коливання ударника відбійного молотка тощо.

Під час коливань періодичної зміни зазнають зміщення, швидкість, прискорення. Очевидно, найбільшу швидкість тіло матиме у момент проходження ним положення рівноваги і напрям його швидкості періодично змінюється на протилежний. Тіло буде мати найбільше прискорення у моменти, коли воно проходить положення найбільшого зміщення.

**3** Нехай математичний маятник розпочав рух з положення 1 (див. рис. 52) і, з часом пройшовши положення 2 і 3, повернувся назад. У цьому випадку говорять, що маятник здійснив одне **повне коливання**.

Інтервал часу, впродовж якого маятник здійснив одне повне коливання, називається *періодом коливань*. Період коливань позначають літерою  $T$  і вимірюють в секундах (1 с).

Важливою характеристикою коливального руху є частота коливань.

**Частотою коливань** називають кількість повних коливань, які здійснило тіло за 1 с. Частоту коливань позначають грецькою літе-



року  $\nu$  («ню»). Чим більше повних коливань за 1 с здійснює маятник, тим більшою є його частота коливань і навпаки. Основною одиницею частоти є герц (1 Гц). За 1 Гц = 1 с<sup>-1</sup> прийнято частоту таких коливань, коли тіло за 1 с здійснює одне повне коливання. На практиці користуються також кратними одиницями:

$$10^3 \text{ Гц} = 1 \text{ кГц},$$

$$10^6 \text{ Гц} = 1 \text{ МГц}.$$

Частота і період коливань пов'язані між собою. Наприклад, якщо маятник за 5 с здійснив 10 коливань, то період його коливань  $T = 5 \text{ с} : 10 = 0,5 \text{ с}$ , а частота  $\nu = 10 : 5 \text{ с} = 2 \frac{1}{\text{с}} = 2 \text{ Гц}$ . Отже, період і частота коливань, як і у випадку руху по колу, є взаємно оберненими величинами:

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



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух називається механічними коливаннями? Наведіть приклади механічних коливань.
2. Що таке коливальна система? Наведіть приклади коливальних систем.
3. Що називають математичним маятником; пружинним маятником?
4. Що називають зміщенням, амплітудою, періодом і частотою коливань? Назвіть одиниці цих величин.
5. Який існує зв'язок між періодом і частотою коливань?



### Завдання 14

1. Маятник здійснив 4 повних коливання за 8 с. Визначте період і частоту його коливань.
2. Який шлях пройде маятник за одне повне коливання, якщо амплітуда коливань становить 5 см?
- 3\*. Ніжка камертона, що звучить, коливається з частотою 494 Гц. Визначте середню за період коливань швидкість точки камертона, яка має амплітуду коливань 1 мм.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку.

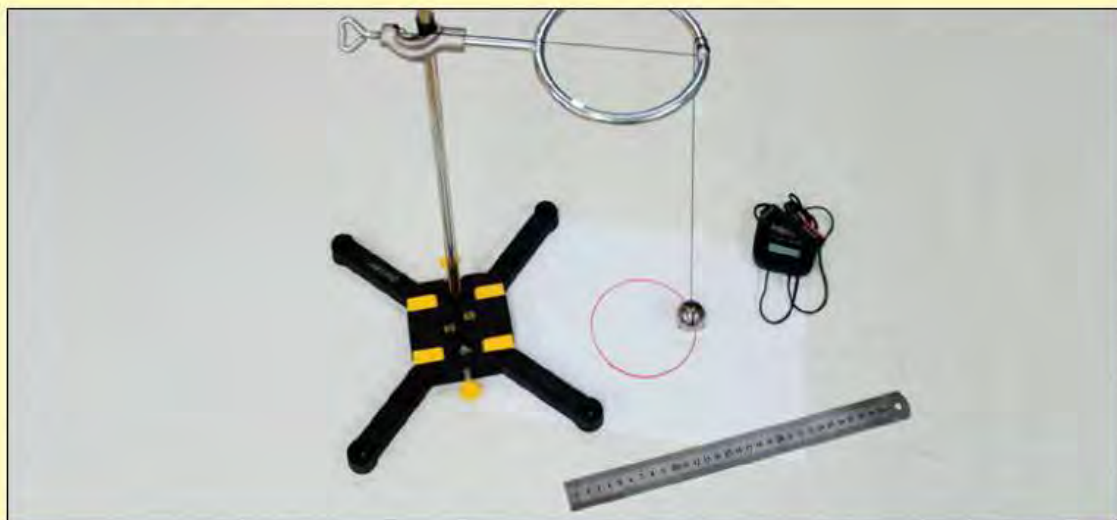


## Лабораторна робота № 5

### Дослідження коливань математичного маятника

**Мета роботи.** Дослідити, від яких величин залежить період коливань математичного маятника.

**Обладнання.** 1. Штатив. 2. Нитка завдовжки біля 50 см. 3. Мірна стрічка або лінійка з міліметровими поділками. 4. Секундомір або годинник із секундною стрілкою. 5. Металева кулька.



### Хід роботи

1. Виготовте математичний маятник, прикріпивши кульку до нитки і підвісивши її до штатива.

2. Дослідіть залежність періоду коливань математичного маятника від його довжини. Для цього виміряйте довжину  $l$  нитки від точки її закріплення у штати-



ві до точки кріплення з кулькою. Виміряйте діаметр кульки, поділіть його на 2 і визначте радіус  $r$  кульки. Додавши довжину нитки до радіуса кульки, знайдіть довжину  $l$  маятника. Відхиливши маятник від положення рівноваги і відпустивши його, визначте час  $t$  для  $n = 20$  коливань. Визначте період коливань маятника  $T = \frac{t}{n}$ . Вважайте, що абсолютна похибка вимірювань дорівнює половині ціни поділки шкали. Ці досліди проведіть ще раз, змінивши довжину маятника. Дані вимірювань занесіть у звітну таблицю і зробіть висновок.

№ п/п	$l_{\text{н}}, \text{ см}$	$r, \text{ см}$	$l = l_{\text{н}} + r, \text{ см}$	$n$	$t \pm \Delta t, \text{ с}$	$T \pm \Delta t, \text{ с}$
1						
2						

3. Дослідіть, чи залежить період коливань математичного маятника від амплітуди  $A$  його коливань. Можна використати маятник, з яким проводився другий дослід, не змінюючи довжину.

Відхиліть маятник від положення рівноваги на  $A = 3 \text{ см}$  і визначте його період коливань, як і в попередньому досліді. Дослід повторіть, але при амплітуді  $5 \text{ см}$ , не змінюючи довжини маятника. Дані вимірювань занесіть у звітну таблицю і зробіть висновок.

№ п/п	$A, \text{ см}$	$n$	$t \pm \Delta t, \text{ с}$	$T \pm \Delta t, \text{ с}$
1				
2				



## Навчальний проект № 1

Використовуючи теоретичні знання та набутий досвід при виконанні завдання 11 та лабораторних робіт №4 і №5 виконайте навчальний проект «Визначення середньої швидкості нерівномірного руху» за таким планом:

1. Теоретичні основи: нерівномірний прямолінійний рух та середня швидкість нерівномірного руху, рівняння середньої швидкості.
2. Потреба та практичний досвід опису нерівномірного руху.
3. Визначення середньої швидкості нерівномірного руху, наприклад, пасажирського ліфта при його русі між поверхами висотного будинку.



## Розділ III

# ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

### §22. Явище інерції

- ✓ Який рух називають рівномірним; рівноприскореним?
- ✓ Наведіть приклади дії одного тіла на інше.

**1** У попередніх параграфах ми не з'ясували, за яких причин в одних випадках тіло рухається рівномірно, а в інших — його швидкість змінюється.

Як свідчать численні експерименти і наш повсякденний досвід, швидкість тіла може змінюватися лише внаслідок дії на нього іншого тіла або декількох тіл. Наприклад, візок, що рухається на демонстраційному столі, автомобіль з вимкнутим двигуном на шосе або поїзд обов'язково зупиняться. Причина цього явища — дія поверхні, до якої дотикається тіло (поверхні стола, дороги, рейок і т.ін.). Якщо ж тіло перебуває у спокої і його швидкість дорівнює нулю, то привести це тіло в рух (при цьому воно повинно набути якоїсь швидкості) може тільки інше тіло. Так, сталевий візок, що перебував у спокої, може бути приведений у рух іншим візком, який рухався з певною швидкістю, внаслідок зіткнення (рис. 53, а), або рукою людини, чи магнітом, піднесеним до візка (рис. 53, б).

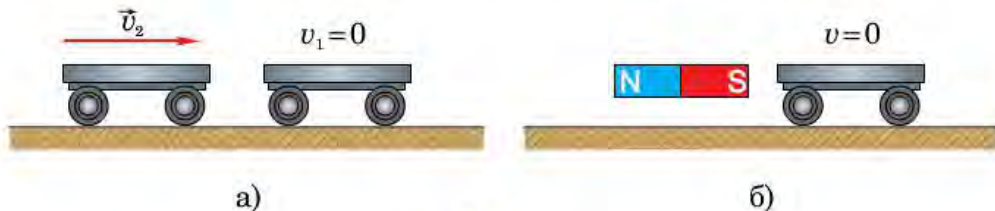


Рис. 53



**2** А що відбудеться з тілом, якщо на нього не будуть діяти ніякі інші тіла? У реальних умовах на Землі такий дослід практично провести неможливо, оскільки Земля притягує до себе усі тіла.

Можна, проте, і на Землі спробувати створити умови, за яких рух тіла можна вважати рівномірним. Якщо, наприклад, усунути усі перешкоди, які можуть зустрітися тілу, що рухається по горизонтальній поверхні рівномірно прямолінійно, то, очевидно, його швидкість залишиться постійною. Подібні дослідів належать до так званих мислених експериментів, і реально їх провести неможливо. Проте реально можна провести декілька дослідів в умовах, близьких до ідеальних.

Нехай металева кулька скочується по похилій площині (рис. 54), набуває швидкості  $\bar{v}$  і далі продовжує рухатися горизонтальною поверхнею. Умови на горизонтальній поверхні будемо змінювати. У першому досліді на горизонтальній поверхні насипаний пісок (рис. 54, а), у другому ви-

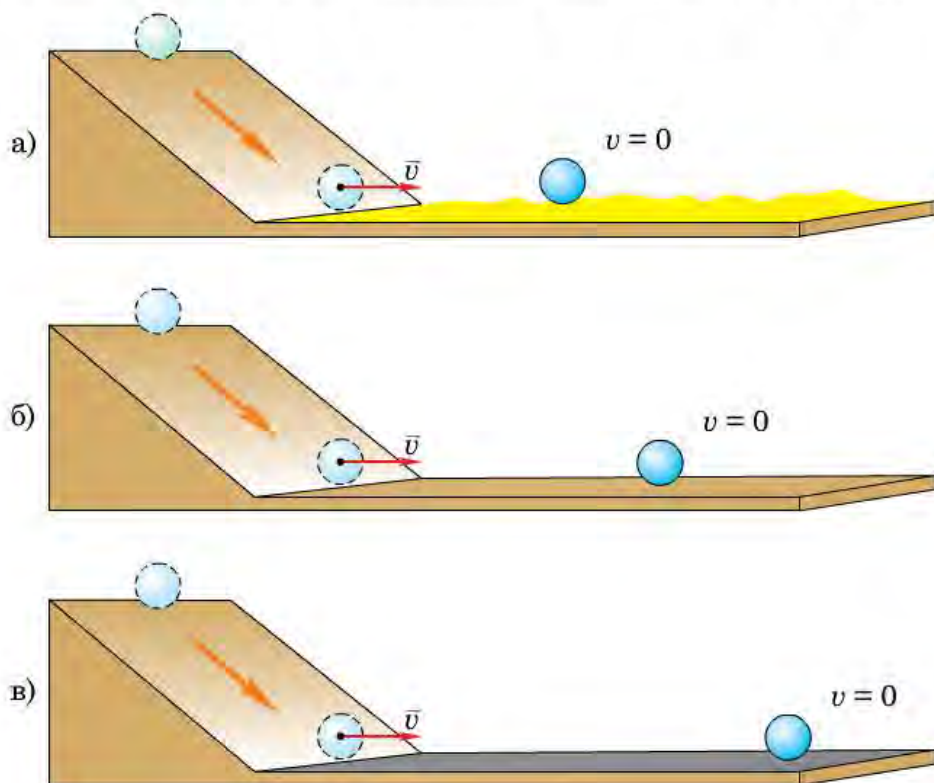


Рис. 54



падку кулька рухається по поверхні демонстраційного стола (рис. 54, б), а в третьому — по гладенькому металевому листу (рис 54, в). Як видно з дослідів, у кожному наступному випадку кулька довше зберігає свою швидкість і її рух усе більше наближається до рівномірного. Можна зробити висновок, що в ідеальному випадку за відсутності тертя рівномірний рух кульки продовжуватиметься нескінченно довго.

**3** Отже, якщо на тіло не діють інші тіла, то воно перебуває або у стані спокою, або рухається рівномірно прямолінійно.

Сформульований висновок є одним з основних законів природи і називається *законом інерції*.

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

Закон інерції був відкритий у кінці XVI — на початку XVII ст. великим італійським ученим Галілео Галілеєм. Нам нині здається, що цей закон є простим і очевидним. Проте майже чотири сторіччя тому Галілею знадобилося провести велику кількість дослідів з вивчення руху тіл, щоб прийти до такого висновку. Закон інерції Галілея перекреслював помилкові уявлення, які панували більше ніж тисячоліття, про те, що тіло рухатися саме по собі не може.



### Запитання для самоперевірки

1. Яка причина зміни швидкості?
2. Як рухається тіло за умови, що на нього не діють інші тіла?
3. У чому полягає явище інерції?
4. Сформулюйте закон інерції. Хто його відкрив?
- 5\*. Чому твердження «Якщо на тіло не діють інші тіла, то воно або перебуває у спокої, або рухається рівномірно прямолінійно» є законом? Відповідь обґрунтуйте.

## §23. Інертність тіла. Маса

✓ За яких умов швидкість руху тіла залишається постійною?

**1** Швидкість тіла може змінюватися тільки за умови, що на нього діє інше тіло, інакше кажучи, тільки у результаті *взаємодії тіл*. Але як саме буде змінюватися швидкість? Для дослідження цієї проблеми проведемо декілька дослідів.

Візьмемо два однакові візки. Приведемо їх поштовхом у рух назустріч один одному з однаковими за величиною швидкостями  $v_1 = v_2 = v$  (рис. 55, а).

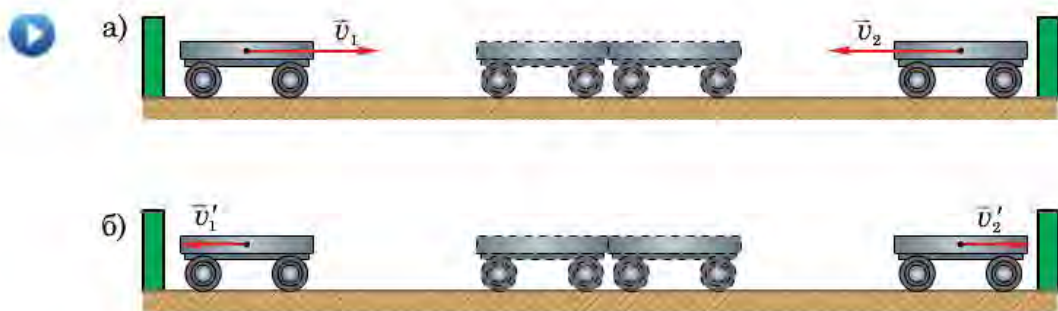


Рис. 55

Після зіштовхування візки доїдуть до перешкод, які установлені на однакових відстанях від місця взаємодії, одночасно і, отже, вони роз'їдуться також з однаковими швидкостями  $v'_1 = v'_2 = v'$  (рис. 55, б).

Далі змінимо умови досліду. Візьмемо пружну пластинку, зігнемо її і кінці зв'яжемо ниткою. Тісно приставимо обидва візки до цієї пластинки, встановимо їх на однакових відстанях від перешкод і перепалимо нитку. Пластинка різко розправиться, привівши візки в рух (рис. 56, а). Можна помітити, що візки одночасно досягнуть перешкод (рис. 56, б). Отже, візки розпочали рух з однаковими і протилежно напрямленими швидкостями.

Таким чином, якщо візки однакові, то в результаті взаємодії їхні швидкості також зміняться однаково. Ви можете знайти чимало прикладів, які підтверджують цей висновок. Так, наприклад, два хлопчики однакової комплекції, що стоять один біля одного на льоду на ковзанах, відштов-



хнувшись один від одного, роз'їдуться з однаковими швидкостями на однакові відстані.

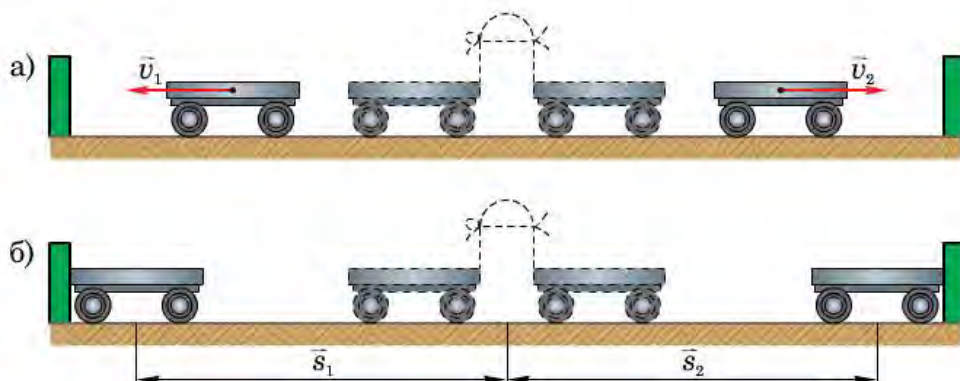


Рис. 56

**2** Як же зміняться швидкості тіл, якщо взаємодіючі тіла неоднакові? Чи будуть однаковими швидкості двох хлопчиків на ковзанах, якщо вони відштовхнуться один від одного і один із них великий, а інший – малий?

Повернімося знову до попереднього дослідів з візками, але дещо змінимо його. Покладемо на один з візків брусок (рис. 57). Тепер після взаємодії візки поводитимуться інакше. Після перепалювання нитки візок з брусом набуде меншої швидкості ( $v_1 < v_2$ ), і йому буде потрібний більший час для того, щоб доїхати до перешкоди. Це сталося тому, що тепер

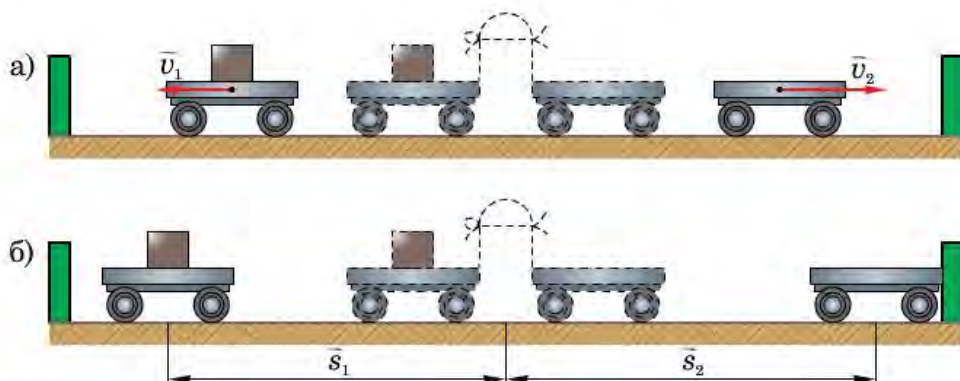


Рис. 57

тіла мають різні маси. Візок, що рухався швидше, має меншу масу, ніж візок з брусом, який рухався повільніше і мав більшу масу.

**3** Що ж характеризує масу тіла, яку його властивість? Ви вже знаєте, що швидкість тіла не може змінитися миттєво: тіло намагається за інерцією або зберегти стан спокою, або рухатися рівномірно прямолінійно. В останньому досліді візки виводилися зі стану спокою. За один і той самий проміжок часу взаємодії швидкість навантаженого брусом візка змінилася на меншу величину, ніж ненавантаженого.

Отже, тіла мають деяку властивість, яка характеризує їхню здатність по-різному змінювати швидкість під час взаємодії. Ця властивість тіл називається **інертністю**. Таким чином, інертність — це властивість тіла, яка полягає у тому, що для зміни його швидкості потрібний час. Інакше кажучи, більш інертні тіла мають більшу масу, тоді як легкі тіла менш інертні, тобто мають меншу масу.

Тепер можна зробити висновок: *маса тіла є характеристикою його інертності*. Або: **маса є мірою інертності тіла**.



### Запитання для самоперевірки

1. Що можна сказати про швидкості візків з однаковою масою, яких вони набувають після зіткнення?
2. Як зміняться швидкості взаємодіючих тіл, якщо їхні маси різні?
3. Яку властивість тіла називають інертністю?
4. Як ви розумієте твердження: «Маса є мірою інертності тіла»?



### Завдання 15

1. Поясніть, чому при пострілі з гармати снаряд і гармата, що відкочується, мають суттєво різні швидкості.



2. На лівий візок (див. рис. 56) поклали суцільний металевий кубик, на правий — дерев'яний з таким самим об'ємом. Який візок набуде більшої швидкості після перепалювання нитки і чому?
3. Лівий візок (див. задачу 2) набув швидкості 5 см/с, а правий — 10 см/с. Маса якого візка з тягарем більша і в скільки разів?
4. Наведіть приклади прояву інертності тіл, не згаданих у параграфі.
5. Поставте на візок брусок (рис. 58) і потягніть за нитку. Перший раз зробіть це швидко і різко, другого разу повільно приведіть візок у рух. Поясніть, що відбудеться у кожному досліді і чому.
- 6\*. Як ви розумієте твердження: «Інерція — це фізичне явище, а інертність — властивість тіла»? Відповідь поясніть.

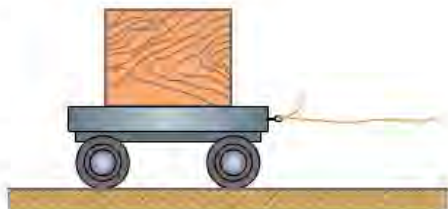


Рис. 58

## §24. Вимірювання маси

✓ Пригадайте, як можна виміряти масу тіла, використавши терези.

**1** Маса — фізична величина; позначається літерою  $m$ . Як і будь-яку фізичну величину, масу можна виміряти.

Основною одиницею маси є **кілограм (1 кг)**. Кілограм — це еталон маси у вигляді циліндра, виготовленого з платиново-іридієвого сплаву, що зберігається у Палаті мір і ваг у Франції. У багатьох країнах зберігаються досить точні копії цього еталона. Масу будь-якого тіла можна визначити, порівнюючи її з цим еталоном.

На практиці часто використовують й інші одиниці маси, зручніші для вираження великих або зовсім малих мас: **тонна (1 т)**, **грам (1 г)**, **міліграм (1 мг)**.

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^3 \text{ кг};$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ кг};$$

$$1 \text{ мг} = 0,001 \text{ г} = 10^{-3} \text{ г} = 10^{-6} \text{ кг}.$$

**2** Будь-яке тіло в природі — від велетенських небесних тіл (Місяць, Сонце, зорі) до дуже маленьких елементарних частинок (електрони, про-



тони, нейтрони) — має масу, і його масу можна виміряти. Існують різні способи вимірювання маси. Можна визначити масу тіл, порівнюючи швидкості, набуті внаслідок їхньої взаємодії. Таким способом визначають маси таких великих тіл, як планети та їхні супутники, або таких дуже малих частинок, як атоми й молекули.

Найпростіший спосіб вимірювання маси тіла — це його зважування за допомогою важільних ваг.



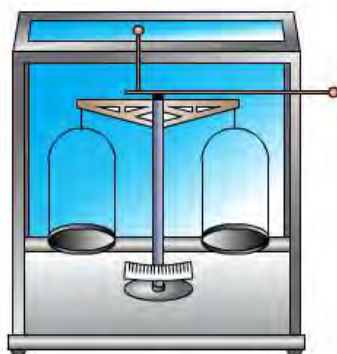
Рис. 59

**3** Важільні ваги (терези) складаються з коромисла, до кінців якого підвішені шальки (рис. 59). Коромисло прикріплене до вертикального стержня так, що воно може вільно коливатися. До терезів додається набір важків (гир). На одну шальку терезів кладуть тіло, масу якого хочуть виміряти, а на другу — важки. Якщо загальна маса важків і маса зважуваного тіла рівні, то коромисло терезів прийде до стану рівноваги і займе строго горизонтальне положення.

Кожні терези мають свою межу вимірювання, яка, як правило, дорівнює сумарній масі усіх важків набору, а ціну поділки терезів визначає найменший важок.

**4** Залежно від того, які тіла потрібно зважити і з якою точністю, існують різні види ваг. Для виконання дуже точних зважувань використовують спеціальні аналітичні терези, які завжди знаходяться у скляному коробі (рис. 60, а), щоб захистити їх навіть від найменших протягів. Працювати безпосередньо руками з аналітичними терезами не можна; для проведення зважування використовуються спеціальні важелі, які знаходяться всередині скляного короба, важки слід брати пінцетом.

Існують ваги, для зважування на яких особливо висока точність не потрібна, наприклад, при визначенні маси навантаженого автомобіля або навіть залізничного вагона (рис. 60, б).



а)



б)

Рис. 60

**5** Проте, не всі тіла можна зважити. Не існує ваг для зважування дуже великих і дуже малих тіл. Маса таких тіл визначають іншими способами, заснованими на вимірюванні зміни їхніх швидкостей під час взаємодії.



### Запитання для самоперевірки

1. Назвіть різні одиниці маси. Поясніть, чому їх декілька. Запишіть співвідношення між одиницями маси.
2. Які існують способи вимірювання маси?
3. Чому маса є фізичною величиною?
4. Що являють собою важільні ваги?
5. Розкажіть, як можна виміряти масу тіла за допомогою терезів.
6. Чи завжди можна визначити масу тіла за допомогою ваг? Відповідь поясніть.





## Лабораторна робота № 6

### Вимірювання маси тіл на важільних вагах (терезах)

**Мета роботи.** 1. Вивчити будову терезів. 2. Оволодіти навичками роботи з ними. 3. Навчитися визначати масу тіл за допомогою терезів.

**Обладнання.** 1. Лабораторні шкільні терези. 2. Набір важків (гир) з різною масою. 3. Хімічна склянка з об'ємом  $100\text{ см}^3$ . 4. Посудина з водою. 5\*. Тіла для зважування (гайка, шайба тощо).



#### *Хід роботи*

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть §23, §24 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи № 5.

2. Вивчіть будову терезів.

3. Ознайомтеся з правилами користування терезами і комплектом важків. При зважуванні зважуване тіло кладіть на ліву шальку терезів, важки — на праву; за потреби звертайтеся до вчителя за роз'ясненнями.

4. Перед зважуванням перевірте, чи зрівноважені терези. Якщо вони не зрівноважені, то на відповідну шальку необхідно насипати трохи піску або покласти дрібні папірці.

5. Зважуване тіло і важки кладуть на шальки обережно, щоб не зіпсувати терези.

6. Рідкі, сипучі, гарячі тіла потрібно класти так, щоб не забруднити шальку.

7. Маса зважуваного тіла не повинна перевищувати максимальну масу, на яку розраховані терези.

8. Дрібні важки потрібно брати пінцетом, великі — за допомогою папірця, щоб не змінити їхню масу.

9. Зрівноважувати зважуване тіло починають важками більшої маси, потім дрібнішими, інакше може не вистачити дрібних важків.

10. Визначте масу  $m_1$  порожньої склянки, поклавши її на ліву шальку терезів, а на праву — відповідні важки для рівноваги.

11. Не знімаючи склянку з шальки терезів, налейте в неї певну кількість води з посудини і визначте масу  $m_2$  склянки з водою.

12. Результати вимірювань занесіть у таблицю й обчисліть масу води у склянці за формулою:  $m = m_2 - m_1$ .

13. Зважування повторіть ще двічі з різною кількістю води.

№ дослідів	Маса порожньої склянки $m_1$ , г	Маса склянки з водою $m_2$ , г	Маса води у склянці $m = m_2 - m_1$ , г
1			
2			
3			

14\*. Додаткове завдання. Зважте гайку, шайбу або інші тіла за вказівкою вчителя. Результати вимірювання маси цих тіл занесіть у таблицю.

№ дослідів	Назва тіла	Маса тіла, г
1	Шайба	
2	Гайка	



## §25. Густина речовин

- ✓ Чи завжди два тіла, які мають однакові об'єми, мають однакову масу?
- ✓ Як можна визначити об'єм твердого тіла; рідини?

**1** З'ясуємо, від чого залежить маса тіл. З цією метою проведемо дослід. Візьмемо два металічні кубики з однаковими об'ємами: один свинцевий, інший — алюмінієвий. Помістивши їх на праву і ліву шальки терезів, помітимо, що їхні маси різні: маса свинцевого кубика значно більша, ніж алюмінієвого (рис. 61, а). Свинець і алюміній — різні речовини, отже маси кубиків однакових об'ємів залежать від роду речовин, з яких вони виготовлені.

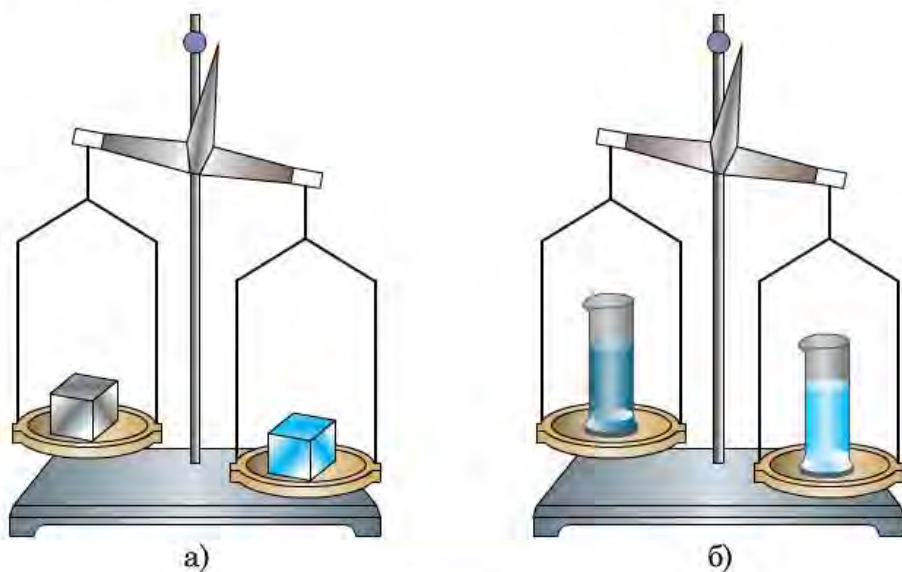


Рис. 61

Проведемо ще один дослід: наллємо у дві однакові мензурки по 100 мл води та соняшникової олії і помістимо їх на різні шальки терезів. Ми побачимо, що при однакових об'ємах маси цих рідин різні (рис. 61, б). Маса води більша, ніж маса олії. Аналогічно до першого дослідження можна сказати, що маси рідин з однаковими об'ємами залежать від роду речовин.

**2** Із цих дослідів можна зробити висновок про те, що маси різних тіл з однаковими об'ємами різні. Ця відмінність характеризується фізичною величиною, яку називають *густиною речовини*.

Щоб визначити густину речовини, потрібно масу тіла поділити на його об'єм:

$$\text{густина} = \frac{\text{маса}}{\text{об'єм}}.$$

**3** Густину позначають грецькою буквою  $\rho$  («ро»). Тепер запишемо формулу для обчислення густини, позначивши масу літерою  $m$ , а об'єм —  $V$ :

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

**4** Оскільки основною одиницею маси є 1 кг, а об'єму — 1 м<sup>3</sup>, то основною одиницею густини буде відповідно кілограм на кубічний метр (1 кг/м<sup>3</sup>).

На практиці використовують й інші одиниці густини: грам на кубічний сантиметр (1 г/см<sup>3</sup>), тонна на кубічний метр (1 т/м<sup>3</sup>).

Наприклад, густина міді складає 8900 кг/м<sup>3</sup>. Це число означає, що маса міді з об'ємом 1 м<sup>3</sup> дорівнює 8900 кг.

Густину речовини (міді) з кг/м<sup>3</sup> можна перетворити у г/см<sup>3</sup> таким способом. Оскільки 1 кг = 1000 г = 10<sup>3</sup> г, а 1 м<sup>3</sup> = 1 000 000 см<sup>3</sup> = 10<sup>6</sup> см<sup>3</sup>, то

$$\rho = 8900 \text{ кг/м}^3 = \frac{8900 \cdot 10^3 \text{ г}}{10^6 \text{ см}^3} = 8,9 \text{ г/см}^3.$$

**5** Порівняємо густину тих речовин, які були використані в описаних дослідях. Густина свинцю 11 300 кг/м<sup>3</sup>, алюмінію — 2700 кг/м<sup>3</sup>, води — 1000 кг/м<sup>3</sup>, соняшникової олії — 926 кг/м<sup>3</sup>. Тепер зрозуміло, чому тверді тіла і рідини з однаковими об'ємами мають різну масу. Це пояснюється різною густиною речовин, з яких вони складаються.

Різну густину мають не тільки тверді речовини або рідини, але й гази. Так, кисень має більшу густину, ніж повітря. Густина водню значно менша, ніж густина повітря чи кисню.

Густини усіх (або майже усіх) існуючих у природі речовин — твердих, рідких і газів — уже давно визначені. Деякі з них подані у таблицях 3–5.



## Густина твердих речовин

Тверда речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Тверда речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Іридій	22 400	22,4	Граніт	2600	2,6
Платина	21 500	21,5	Скло	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Фарфор	2300	2,3
Свинець	11 300	11,3	Бетон	2200	2,2
Срібло	10 500	10,5	Цегла	1600	1,6
Мідь	8900	8,9	Парафін	900	0,9
Латунь	8500	8,5	Лід	900	0,9
Сталь, залізо	7800	7,8	Дуб сухий	800	0,8
Олово	7300	7,3	Сосна суха	440	0,4
Цинк	7100	7,1	Корок	240	0,24
Алюміній	2700	2,7	Поролон	200–600	0,2–0,6
Мармур	2700	2,7			

Таблиця 4

## Густина рідин (за температури 20 °С)

Рідина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Рідина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Ртуть	13 600	13,6	Спирт, гас	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Нафта	800	0,80
Вода чиста	1000	1	Ацетон	790	0,79
Машинне масло	900	0,9	Бензин	710	0,71

Таблиця 5

## Густина газів (за нормального атмосферного тиску і температури 20 °С)

Газ	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Газ	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Вуглекислий газ	1,980	0,00198	Чадний газ	1,250	0,00125
Кисень	1,430	0,00143	Водяна пара (за 100 °С)	0,600	0,00060
Повітря (за 0 °С)	1,290	0,00129	Водень	0,090	0,00009

**6** Знаючи густини речовин, можна, не користуючись вагами, визначити масу будь-якого тіла, якщо відомий його об'єм.

Так, якщо ви хочете визначити масу води, наливої у літрову банку, треба скористатися формулою густини і записати її у вигляді:

$$m = \rho V.$$

Густина води  $1000 \text{ кг/м}^3$ ; об'єм води, що повністю заповнює літрову банку, дорівнює 1 л, або в основних одиницях об'єму:

$$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3.$$

Тоді маса води в банці становить:

$$m = 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 1 \text{ кг}.$$



### Запитання для самоперевірки

1. На що вказує густина речовини?
2. Назвіть одиниці густини.
3. Густина скла дорівнює  $2500 \text{ кг/м}^3$ . Що означає це число?
4. Скориставшись даними таблиць густин речовин, запишіть, чому дорівнює густина заліза, нафти і водяної пари. Порівняйте ці числові значення і поясніть причину їхньої відмінності.
5. Як знайти масу тіла, знаючи його об'єм і густину?
- 6\*. Записавши формулу густини  $\rho = \frac{m}{V}$ , учень прочитав її так: «Густина речовини прямо пропорційна масі тіла і обернено пропорційна його об'єму». Чи правильно він прочитав формулу? Відповідь поясніть.



### Завдання 16

1. Щоб переконатися у правильності одержаної у кінці параграфа відповіді про масу води, наливої у літрову банку, проведіть зважування. (Не забудьте спочатку зважити порожню банку!). Чи співпали результати вашого експерименту з обчисленим значенням?



2. Визначте густину крейди, якщо маса її кусочка дорівнює 3,6 г, а об'єм —  $1,8 \text{ см}^3$ .
3. Об'єм якої з двох кульок з однаковими масами більший — залізної чи гранітної?
4. Подайте значення густини срібла, латуні, цинку, скла і льоду у вигляді стовпчастої діаграми.
5. У мензурки **A** та **B** налиті вода і спирт (рис. 62). Маса рідин однакові. Відшукайте у таблиці густини цих рідин і встановіть, у якій мензурці вода, а в якій — спирт.
6. Оцініть об'єм свого тіла, якщо відомо, що середня густина речовини людського тіла близька до густини води.

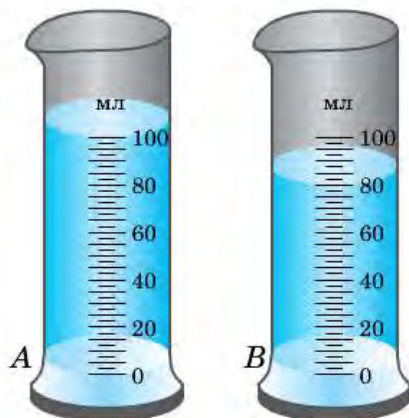


Рис. 62



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.



## Лабораторна робота № 7

### Визначення густини речовин твердих тіл і рідин

**Мета роботи.** 1. Закріпити уміння і навички щодо вимірювання лінійних розмірів, об'єму і маси тіл. 2. Навчитися визначати густину речовини.

**Обладнання.** 1. Мензурка об'ємом  $200 \text{ см}^3$ . 2. Посудина з водою. 3. Лабораторні терези з набором важків до них. 4. Лінійка. 5. Нитка. 6. Металевий брусок. 7. Невелике суцільне тіло неправильної форми (кусок металу, камінець тощо). 8. Фільтрувальний папір. 9\*. Посудина з досліджуваною рідиною (олією, розчином кухонної солі тощо).

### *Хід роботи*

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть § 25 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи № 6.



2. Пригадайте або за необхідності повторіть способи вимірювання лінійних розмірів тіл, їхніх об'ємів, основні правила зважування за допомогою терезів. Підготуйте терези до зважування.

3. Розгляньте наявні у вас набір важків, мензурку і лінійку. Визначте характеристики засобів вимірювання та запишіть їх у таблицю.

Засіб вимірювання	Межі вимірювання	Ціна поділки шкали
Лінійка		
Мензурка		
Терези		

4. Визначте за допомогою терезів масу  $m$  бруска, виміряйте лінійкою його довжину  $l$ , ширину  $b$  і висоту  $h$ , обчисліть об'єм  $V$ . Отримані дані занесіть у звітну таблицю, обчисліть густину речовини бруска і за таблицею густин установіть, з якої речовини виготовлено брусок.

Маса $m$ , кг	Довжина $l$ , м	Ширина $b$ , м	Висота $h$ , м	Об'єм $V = lbh$ , $\text{м}^3$	Густина $\rho = m/V$ , $\text{кг/м}^3$	Речовина

5. За допомогою терезів виміряйте масу  $M$  твердого тіла неправильної форми.



6. Налийте у мензурку води об'ємом  $V_1$ , наприклад,  $100 \text{ см}^3$ .

7. Занурте повністю у воду досліджуване тіло, прикріплене до нитки, та виміряйте об'єм  $V_2$  води і тіла. Дані вимірювань занесіть у звітну таблицю, знайдіть об'єм  $V$  тіла, обчисліть його густину  $\rho$  і за відповідною таблицею густин встановіть, з якої речовини виготовлено тверде тіло.

Маса твердого тіла $M$ , кг	Об'єм води у мензурці $V_1$ , $\text{м}^3$	Об'єм води і тіла $V_2$ , $\text{м}^3$	Об'єм тіла $V = V_2 - V_1$ , $\text{м}^3$	Густина $\rho = M/V$ , $\text{кг/м}^3$	Речовина

8. Після закінчення вимірювань вийміть тіло з мензурки і просушіть його за допомогою фільтрувального паперу.

9\*. *Додаткове завдання.* Визначте густину досліджуваної рідини. З цією метою зважте порожню мензурку (нехай її маса  $m_1$ ). Потім налейте у неї рідини об'ємом  $V = 20\text{--}30 \text{ см}^3$  і зважте мензурку з рідиною ( $m_2$ ). Дані занесіть у таблицю й обчисліть густину рідини.

Маса пружної мензурки $m_1$ , кг	Маса мензурки з досліджуваною рідиною $m_2$ , кг	Маса рідини у мензурці $m = m_2 - m_1$ , кг	Об'єм рідини $V$ , $\text{м}^3$	Густина рідини $\rho = m/V$ , $\text{кг/м}^3$

## §26. Сила

✓ Які зміни можуть відбутися з рухомими тілами внаслідок їхньої взаємодії?

**1** Зі словом «сила» ви знайомі давно. Якщо потрібно зрушити з місця тіло, що перебуває у спокої, або зупинити рухоме тіло, то необхідно прикласти певне м'язове зусилля. Це зусилля може бути більшим чи меншим. Не випадково кажуть: «Ця людина сильніша за іншу», «Кінь сильніший за мула» і т.ін. Слово «сила» вживається при описанні багатьох явищ природи — сильний вітер, сильний снігопад тощо. Часто воно характеризує поняття, які зовсім не пов'язані з м'язовими зусиллями,

наприклад, сильний біль, сильне почуття. Проте усі ці слова передають тільки побутову характеристику поняття «сила», яка зустрічається у повсякденному житті.

Для того, щоб увести фізичне поняття «сила», визначивши його як фізичну величину, потрібно з'ясувати, яку властивість чи явище це поняття характеризує і чи можна його виміряти.

**2** Перш за все з'ясуємо, що ж характеризує фізичне поняття «сила».

Сталеву кульку, яка лежить на поверхні стола, можна привести в рух, розмістивши навпроти неї магніт, як показано на рис. 63, а).

Швидкість кульки збільшується від нуля до деякого значення  $\vec{v}_1$ , тобто кулька набуває прискорення  $\vec{a}_1$ . Замінімо магніт на потужніший (рис. 63, б), який сильніше притягуватиме сталеву кульку. Дійдемо висновку, що за той самий час, що і в першому досліді, і швидкість  $v_2$  кульки, і її прискорення  $a_2$  стануть більшими, ніж у першому досліді ( $v_2 > v_1$ ,  $a_2 > a_1$ ).

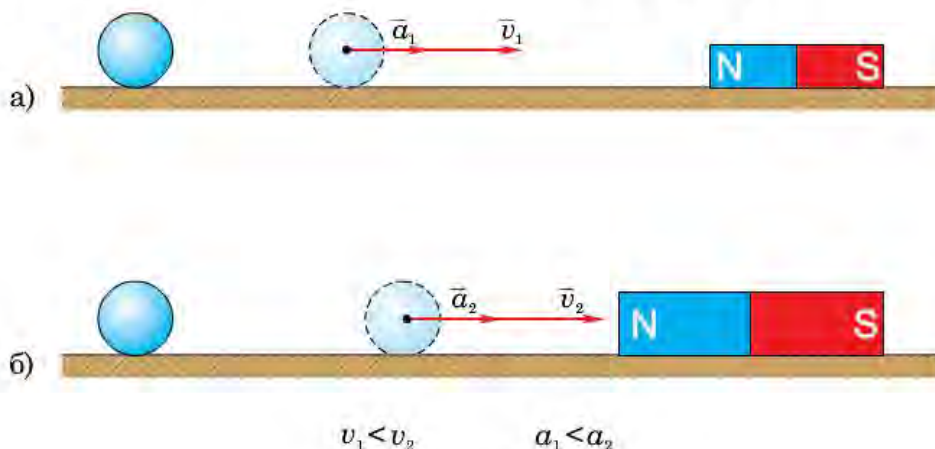


Рис. 63

Повторимо далі дослід, який проводився раніше для аналізу взаємодії двох демонстраційних візків (див. рис. 56). Змінюючи довжину нитки, яка стягує пружну пластинку, ми тим самим змінюємо зусилля, що діють на візки. Чим сильніше ми стягнемо цю пластинку, тим різкіше й інтенсивніше вона розправлятиметься після перепалювання нитки. І швидко-



сті, і прискорення, з якими роз'їдуться візки, залежатимуть від зусилля, прикладеного до них з боку пластинки.

Таким чином, дія одного тіла на інше, інакше кажучи — взаємодія тіл, може бути різною.

У фізиці для кількісної характеристики взаємодії тіл вводиться поняття «сила».

**3 Сила — це міра взаємодії тіл.** Як ви уже бачили на дослідах, вона може бути більшою або меншою, тобто мати різні числові значення. Отже, сила — фізична величина, і її можна виміряти.

Силу позначають літерою  $F$ . Основною одиницею сили є *ньютон* (**1 Н**). Цю одиницю названо на честь англійського вченого Ісаака Ньютона.

**4 Сила характеризується не тільки числовим значенням, але й напрямом; отже, сила є векторною величиною ( $\vec{F}$ ).** Так, у результаті взаємодії ноги футболіста і м'яча (рис. 64, а) сила, що діє на м'яч ( $\vec{F}_1$ ), напрямлена горизонтально, а взаємодія м'яча із Землею (рис. 64, б) призводить до появи сили ( $\vec{F}_2$ ), яка спрямована вертикально вниз. Зверніть увагу на те, що прискорення, якого набуває тіло унаслідок дії на нього сили, завжди напрямлене у тому самому напрямі, що й сила.

**5 Отже, пророблені нами досліди (див. рис. 56, 63) дають змогу стверджувати, що прискорення тіла прямо пропорційне прикладеній до нього силі. У тому, що ми не помиляємося, нас переконують результати численних експериментів з дослідження цієї залежності, проведених фізиками. Отже,**

$$a \sim F.$$

Проте, численні спостереження й досліди свідчать про те, що прискорення тіла також залежить і від його інертних властивостей, тобто від маси тіла (§ 23). І ця залежність обернено пропорційна:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

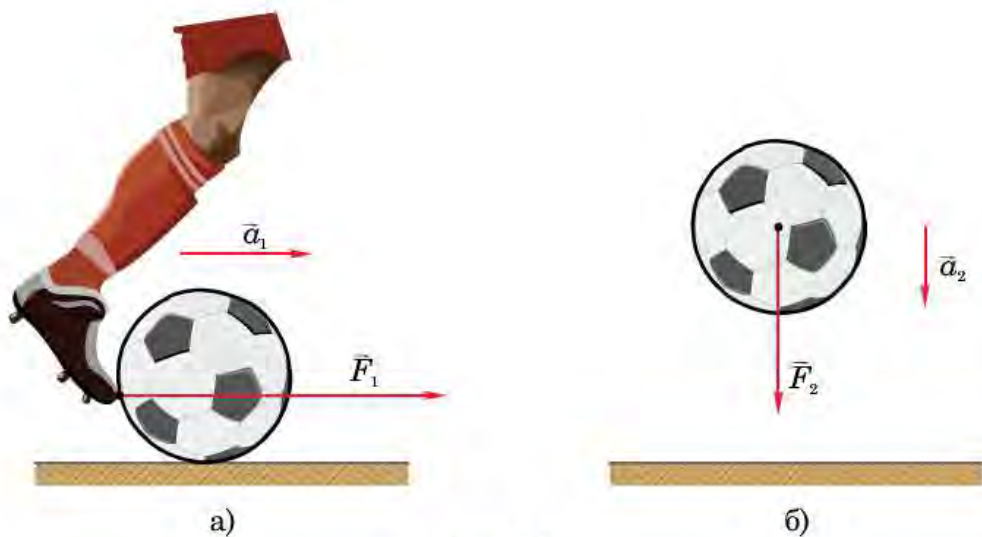


Рис. 64

Таким чином, можна записати:

$$a \sim \frac{F}{m},$$

тобто прискорення тіла прямо пропорційне силі, що діє на нього, і обернено пропорційне його масі.

Чи маємо ми право від знака пропорційності ( $\sim$ ) перейти до знака рівності ( $=$ ), тобто перетворити цю залежність у рівняння? Так, якщо масу тіла будемо виражати в кг, прискорення — в  $\text{м/с}^2$ , а силу — в Н, то можна записати:

$$a = \frac{F}{m}.$$

З одержаного рівняння можна визначити силу, що діє на тіло, якщо відомі маса тіла і прискорення, з яким воно рухається:

$$F = ma.$$

Тепер можна сказати, що **1 Н** — це така сила, яка надає тілу з масою 1 кг прискорення  $1 \text{ м/с}^2$ .





## Запитання для самоперевірки

1. Який фізичний зміст поняття «сила»?
2. Як ви розумієте вираз: «Сила є мірою взаємодії тіл»?
3. Що приймають за одиницю сили?
4. За якою формулою можна обчислити силу?
5. Чи можуть сила і прискорення бути напрямленими у протилежні боки? Відповідь поясніть.
- 6\*. Чи може тіло, на яке діє одна сила, рухатися без прискорення; знаходитися у спокої? Відповідь поясніть.



## Завдання 17

1. На рис. 65, а), б), в), г), д) зображено тіло та указані напрями сили  $\vec{F}$ , швидкості  $\vec{v}$  і прискорення  $\vec{a}$ . Уважно проаналізуйте кожну ситуацію і вкажіть, які рисунки правильні, а які — ні.

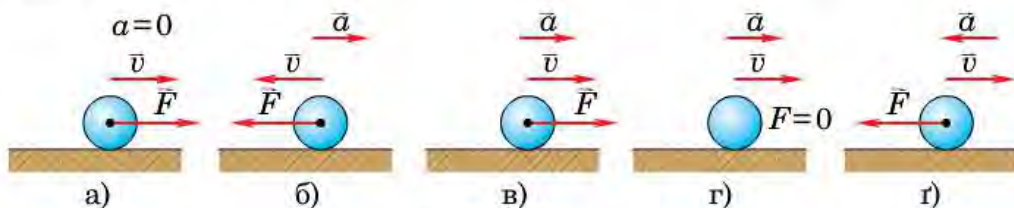


Рис. 65

2. Швидкості двох автомобілів з однаковими масами збільшилися на 30 км/год. Першому автомобілю для цього знадобилося 30 с, а другому — 45 с. На який з автомобілів діяла більша сила під час руху? Відповідь поясніть.
3. Під дією якої сили тіло з масою 500 г набуває прискорення  $5 \text{ м/с}^2$ ?
4. В якому напрямі рухається тіло, зображене на рис. 66? Чи можна відповісти на це запитання? Куди напрямлене прискорення тіла?
- 5\*. Як ви розумієте вираз: «Сила являється причиною прискорення тіла»?

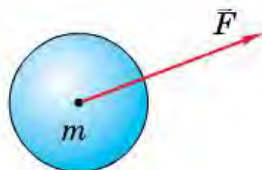


Рис. 66

## §27. Вимірювання сили

- ✓ Що таке деформація тіла? Наведіть приклади деформацій.
- ✓ Як визначити ціну поділки шкали приладу?

**1** Використовуючи формулу  $F = ma$ , можна визначити значення сили, якщо відомі маса тіла і прискорення, надане тілу цією силою. Такий спосіб знаходження значення фізичної величини називають непрямим вимірюванням. Чи існує спосіб прямого вимірювання сили, аналогічний до вимірювання довжини, часу, маси тощо?

Напевно, ви відразу згадаєте про «силомір» — медичний прилад, за допомогою якого можна виміряти м'язову силу вашої руки. Виникає запитання: чи існує такий прилад, за допомогою якого можна було б виміряти будь-які сили? Як він діє?

**2** Для того, щоб з'ясувати, як можна вимірювати сили, повернімося до поняття «сила».

Якщо на гнучку лінійку покласти зверху брусок, то вона прогнеться під дією сили  $\vec{F}$  (рис. 67). Гумовий м'яч змінить свою форму, якщо на нього подіє людина з деякою силою  $\vec{F}$  (рис. 68). В обох випадках дія на тіло сили призводить до зміни не швидкості тіла, а його форми і розмірів, тобто до його *деформації*.

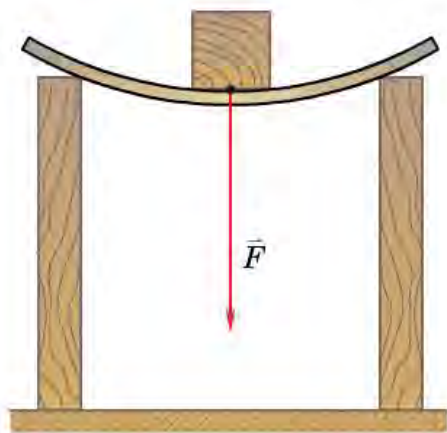


Рис. 67

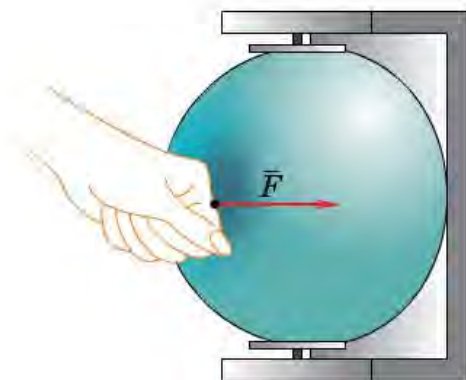


Рис. 68



**Деформацією** називають зміну форми і розмірів тіла під дією сил. Деформація — інший наслідок взаємодії тіл.

Крім деформації згину (див. рис. 67), стискання (див. рис. 68), розтягу (рис. 69), існують деформації зсуву (рис. 70) та кручення (рис. 71). У випадку двох останніх деформацій шари речовини зміщуються один відносно іншого.

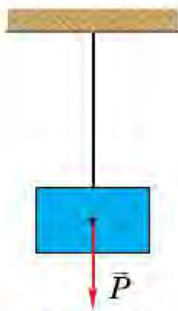


Рис. 69

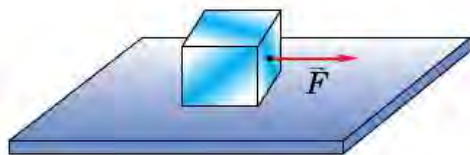


Рис. 70

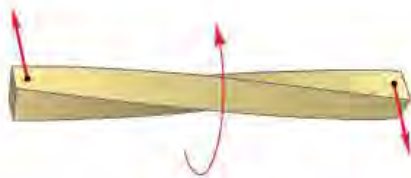


Рис. 71

Деформація тіла, що виникає під дією сили, може бути різною і залежить від діючої сили. Щоб переконатися в цьому, достатньо змінити (збільшити або зменшити) силу, що діє на лінійку чи м'яч. Величина деформації відповідно збільшиться або зменшиться. За величиною деформації судять про силу.

**3** Прилад для вимірювання сили називається **динамометром**. Основною його частиною являється сталева пружина, видовження якої в результаті деформації характеризує значення діючої сили.

Розглянемо принцип дії динамометра. Саме слово «динамометр» грецького походження і в перекладі означає «силомір». Пружина динамометра у верхній частині закріплена (рис. 72). У нижній частині вона має спеціальний індикатор (стрілку), який показує видовження пружини під дією розтягуючої сили.

Основною обов'язковою умовою роботи динамометра є **пружна деформація** пружини, тобто така деформація, яка після припинення дії повністю зникає і пружина повертається в початкове положення.

**4** Нульова поділка шкали динамометра відповідає положенню стрілки при нерозтягнутій пружині (див. рис. 72). Почнемо поступово збільшувати навантаження, підвішуючи до динамометра вантажі з масами 100 г, 200 г, 300 г і т.д. (рис. 73). У результаті взаємодії із Землею вантажі, зміщаючись униз, розтягуватимуть пружину. Видовження пружини буде прямо пропорційне діючій силі. У цьому нас переконає однакове збільшення відстані між попереднім і наступним показами стрілки на шкалі (0–1, 1–2, 2–3).

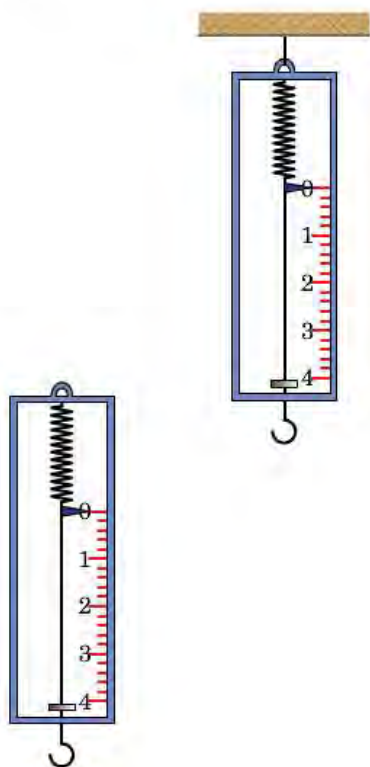


Рис. 72

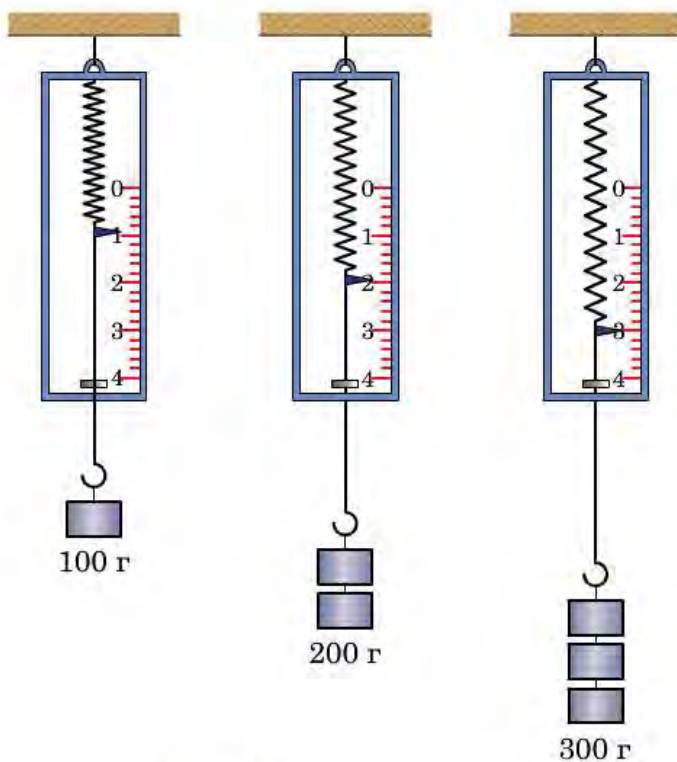


Рис. 73

**5** Динамометри за своїм зовнішнім виглядом і конструкцією бувають різними (рис. 74). Проте принцип їхньої дії, у тому числі й медичного

силоміра, однаковий: у них використовується пряма пропорційна залежність величини деформації пружини від величини прикладеної сили.

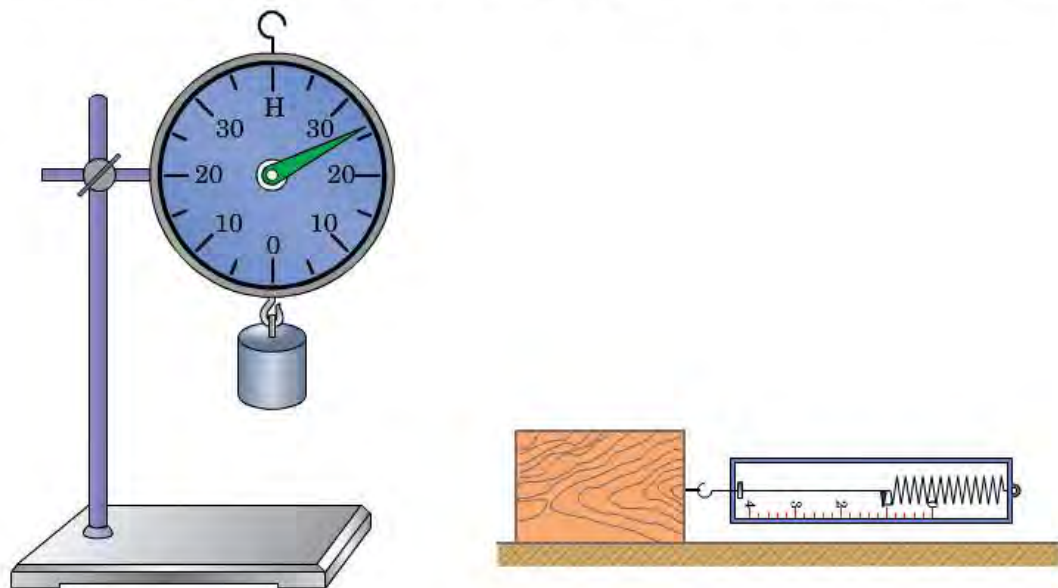


Рис. 74



### Запитання для самоперевірки

1. До яких двох результатів може призвести дія сили на тіло?
2. Що таке деформація тіла?
3. Назвіть види деформацій; наведіть приклади деформацій, що їх зазнають тіла, які перебувають у класній кімнаті.
4. Яким приладом вимірюють силу?
5. Який принцип дії динамометра?
6. Яку деформацію називають пружною?
7. Визначте, які сили показують динамометри, зображені на рис. 74.



## §28. Сила пружності. Закон Гука

✓ Яку деформацію називають пружною?

**1** У механіці, основні положення і закони якої ви вивчаєте, розглядаються рухи тіл під дією сил. Але сили бувають різними.

З однією з них ви вже зустрічалися при розгляді принципу дії динамометра. Справді, в результаті деформації тіла виникає сила, що прагне повернути його у початковий стан. Цю силу називають **силою пружності** ( $\vec{F}_{\text{пр}}$ ).

**2** Візьміть у руки пластмасову лінійку, затисніть її один кінець, а інший зігніть (рис. 75). Ви відчуєте, що лінійка протидіє деформації, і чим сильніше ви її згинаєте, тим виявляється трудніше це зробити (не зламайте лінійку!). Як тільки ви відпустите лінійку, вона відразу ж швидко повернеться у початкове положення. Це відбувається тому, що внаслідок деформації виникає сила пружності.

Сила пружності виникає в усіх випадках, коли тіло деформується. Причиною виникнення сил пружності є взаємодія атомів та молекул тіл між собою.

Далі, проробимо складніший дослід. Деформуємо тепер пружину динамометра (рис. 76) — розтягнемо її на величину  $\Delta l$  ( $\Delta l$  — видовження тіла або зміна його довжини), приклавши деяку силу. З боку пружини на руку діятиме сила пружності  $\vec{F}_{\text{пр}}$  пружини. Збільшимо величину деформації пружини вдвічі, розтягнувши її на величину  $2\Delta l$ . Сила пружності, що виникає в пружині, також збільшиться і стане рівною  $2\vec{F}_{\text{пр}}$ . Продовживши дослід, переконаємося, що в усіх випадках сила пружності буде прямо пропорційна величині деформації (видовженню) тіла. Математично це записується так:

$$F_{\text{пр}} \sim \Delta l.$$



Рис. 75



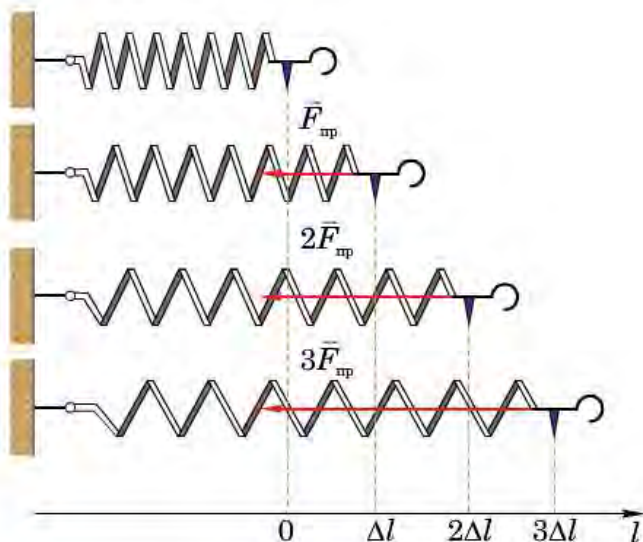


Рис. 76

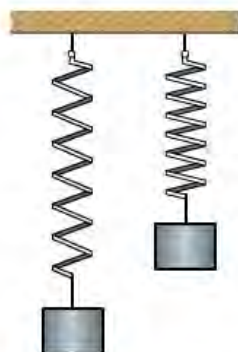


Рис. 77

**3** Але пружини бувають різними. Одну розтягнути легко, а іншу — тяжче (рис. 77). Тому, щоб записати залежність між силою пружності і видовженням у вигляді рівності (тобто, подати у вигляді закону), потрібно враховувати пружні властивості кожної пружини. Ця властивість пружини характеризується деяким коефіцієнтом  $k$ , який називається **жорсткістю**. Жорсткість пружини (як і будь-якого деформованого тіла) залежить від її форми, розмірів та матеріалу, з якого вона виготовлена.

Отже, можна записати:

$$F_{\text{пр}} = k\Delta l.$$

Останнє рівняння виражає **закон Гука**:

**сила пружності, яка виникає під час деформації тіла, прямо пропорційна видовженню тіла (величині деформації).**

Зауважимо, що під час деформації стискання цей закон також можна застосовувати, але слід урахувати, що за цієї деформації «видовження» тіла від'ємне,  $\Delta l < 0$ , і в записі закону Гука слід брати  $|\Delta l|$ .

**4** Закон Гука справедливий тільки у випадку пружних деформацій. У § 27 ми вже говорили про такий вид деформацій. Якщо ми раптом

«перерозтягнемо» пружину у нашому досліді, то у деякий момент вона перестане стискатися після припинення дії сили. (Згадайте попередження: не зламайте пластмасову лінійку!). Те саме може відбутися із металевою лінійкою, але вона не зламається, а в деякий момент різко зігнеться і після цього уже більше не розпрямиться. Інакше кажучи, у кожного пружного тіла існує певна межа пружної деформації.

**5** Особливість сили пружності полягає в тому, що вона завжди напрямлена в бік, протилежний до напрямку зміщення частинок тіла за деформації. Так, на рис. 76 частинки пружини зміщуються вправо, а сила пружності спрямована вліво.

Проробивши самостійно досліди, ви переконаєтеся, що стиснута пружина завжди під дією сили пружності розправляється, а розтягнута — стискається.



### Запитання для самоперевірки

1. Яку силу називають силою пружності?
2. Які деформації називають пружними? Наведіть приклади пружних деформацій.
3. Сформулюйте закон Гука і запишіть формулу, що його виражає.
4. Що характеризує жорсткість тіла? Від чого вона залежить?
5. Що ви можете сказати про напрям сили пружності?
6. Чи завжди виконується закон Гука для деформацій розтягу і стискання? Відповідь поясніть.
7. Чому пружини динамометрів виготовляють зі сталі, а не зі свинцю або алюмінію?



### Завдання 18

1. Укажіть напрям сили пружності, яка діє на м'яч у момент його удару об підлогу. Зробіть відповідний рисунок.
- 2\*. Проаналізуйте формулу закону Гука і визначте одиницю жорсткості  $k$ .
3. Знайдіть жорсткість пружини, яка під дією сили 5 Н видовжилася на 8 см.



4. На рисунку 78 зображений графік залежності довжини гумового джгута від прикладеної до нього сили. Визначте жорсткість джгута.

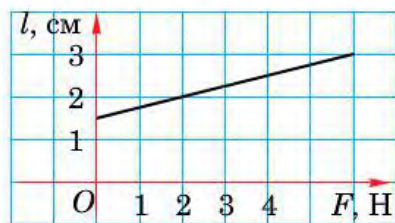


Рис. 78



## Лабораторна робота № 8

### Градуювання шкали динамометра і вимірювання сили

**Мета роботи.** 1. Дослідити залежність сили пружності від величини деформації. 2. Виготовити шкалу динамометра. 3. Навчитися вимірювати силу тяжіння.

**Обладнання.** 1. Лабораторний динамометр зі шкалою, закритою чистим папером. 2. Лабораторний динамометр з відкритою шкалою. 3. Штатив. 4. Лабораторний набір важків масою по 100 г. 5. Лінійка. 6. Олівець. 7. Тіло невідомої маси (камінець, брусок тощо) з ниткою для кріплення.



### *Хід роботи*

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть §27, §28 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи № 7.



2. Закріпіть у штативі корпус динамометра із закритою папером шкалою у вертикальному положенні.

3. При нерозтягнутій пружині позначте на папері нульову поділку навпроти стрілки (показчика) динамометра і біля неї поставте цифру 0.

4. Підвісивши до гачка динамометра важок масою 100 г, позначте довгою рисою положення стрілки і поставте цифру 1. Як відомо, на тіло з масою 102 г діє сила тяжіння 1 Н. Оскільки ми користуємося важками з масою по 100 г, тому нестача 2 г дає незначну похибку (біля 2%).

5. Після цього аналогічно повторюємо досліди, підвишуючи 2, 3 і 4 такі самі важки, та наносимо відповідно цифри 2, 3 і 4, що відповідають силам 2 Н, 3 Н та 4 Н.

6. Зніміть динамометр зі штатива та виміряйте лінійкою відстані між позначками 0 і 1, 1 та 2, 2 і 3, 3 та 4. Встановіть, чи отримано рівномірну шкалу. Результати вимірювань занесіть у таблицю.

Відстані між позначками шкали, мм				Шкала (рівномірна чи нерівномірна)
0 і 1	1 і 2	2 і 3	3 і 4	

7. За допомогою лінійки й олівця поділіть відстані між двома сусідніми поділками на 10 рівних частин, позначивши їх коротшими рисками. Кожну п'яту поділку шкали, отриманої таким способом, позначте дещо довгими рисками.

8. На основі даних градування шкали динамометра заповніть таблицю.

Межа вимірювання динамометра	Ціна поділки

Зробіть відповідний висновок щодо залежності сили пружності від величини деформації розтягу.

9. До гачка динамометра з виготовленою шкалою приєднайте лабораторний динамометр з відкритою шкалою, розташуйте їх на горизонтальній поверхні стола і розтягніть динамометри. Порівняйте покази обох приладів, проробивши три досліди при різних силах. Результати занесіть у таблицю.



Номер досліду	Показ динамометра з виготовленою шкалою, Н	Показ динамометра з відкритою шкалою, Н
1.		
2.		
3.		

**10.** Знову закріпіть динамометр з проградуйованою вами шкалою. До його гачка повісьте тіло невідомої маси і виміряйте силу тяжіння, що діє на нього (точніше силу, з якою тіло розтягує пружину динамометра — так звану вагу тіла).

**11.** Вимірявши силу тяжіння, обчисліть масу тіла. Досліди проробіть з двома різними тілами і заповніть таблицю.

Назва тіла	Сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$ , що діє на тіло, Н	Маса тіла $m = F_{\text{тяж}} / (9,8 \text{ м/с}^2)$ , кг
Брусok		
Камінь		

**12\*.** Додаткове завдання. Зніміть динамометр зі штатива і разом із досліджуваним тілом різко піднімайте вгору, а потім опускайте вниз, спостерігаючи за стрілкою приладу. Зробіть висновок, чи завжди сила тяжіння, що діє на тіло, дорівнює силі пружності пружини динамометра.



## Домашнє завдання

Розробіть і опишіть конструкцію такого динамометра, на який зважували тіла кладуть, а не підвішують. Зробіть ескіз (рисунок) вашої конструкції.

## §29. Додавання сил. Рівнодійна

✓ Що означає твердження про те, що сила є величиною векторною?

**1** Ми до цього часу розглядали найпростіші випадки, коли на тіло діяла тільки одна сила. У реальній ситуації в земних умовах на будь-яке тіло, що рухається або перебуває у спокої, частіше за все діють декілька сил.

На рис. 79, а) зображено тіло, на яке діють три сили:  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$ . Кожна сила надає тілу прискорення  $\vec{a}_1$ ,  $\vec{a}_2$ ,  $\vec{a}_3$ , напрямки яких збігаються з напрямками відповідних сил. Проте, як показують досліди, прискорення  $\vec{a}$ , з яким у результаті рухається тіло, буде таким, яке йому надала б одна-єдина сила  $\vec{F}$  (рис. 79, б). Сила, яка спричиняє таку саму дію на тіло, як і декілька одночасно діючих на нього сил, називають **рівнодійною** цих сил.

Щоб знайти рівнодійну силу, потрібно знайти геометричну (векторну) суму всіх сил, що діють на тіло.

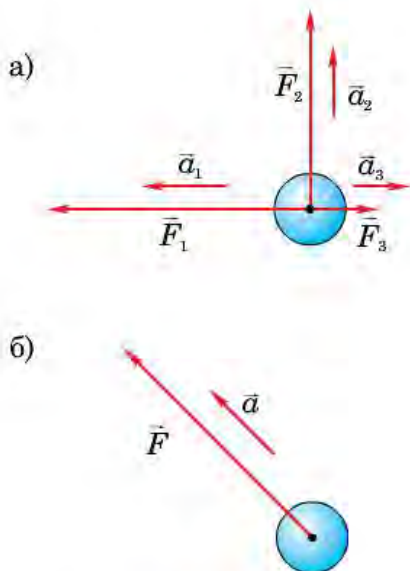


Рис. 79

**2** Яким же способом можна знайти модуль сили  $\vec{F}$  (рівнодійної) та її напрям?

Розглянемо простий випадок — дія декількох сил уздовж однієї прямої. Спочатку розглянемо випадок, коли до тіла прикладені дві сили, направлені в один бік. Для цього проробимо такий дослід. Прикріпимо до динамометрів  $D_1$  і  $D_2$  ще один динамометр  $D_3$ , як показано на рис. 80.

Приведемо систему в рух, потягнувши її за нитку. Покази усіх трьох динамометрів дозволять нам переконатися у тому, що модуль рівнодійної двох сил ( $\vec{F}$ ) у цьому випадку дорівнює сумі модулів сил  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$ :

$$F = F_1 + F_2.$$

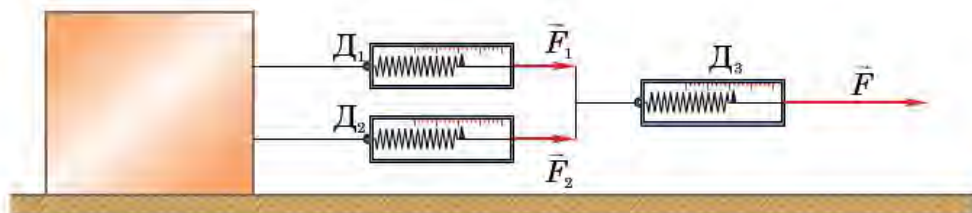


Рис. 80



Якщо дослід змінити, збільшивши кількість сил, що діють на тіло, то динамометр  $D_3$  покаже, що модуль рівнодійної сил ( $\vec{F}$ ) дорівнює сумі модулів усіх діючих сил:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n.$$

Модуль рівнодійної сил дорівнює сумі модулів усіх діючих сил, якщо вони напрямлені вздовж однієї прямої в один бік. Напрямок рівнодійної сил за цієї умови збігається з напрямком діючих сил.

**3** Проведемо відповідний дослід і з'ясуємо, як знайти геометричну суму двох сил у випадку, коли сили напрямлені вздовж однієї прямої, але у протилежних напрямках.

На столик динамометра з круглим циферблатом поставимо гирю, яка буде діяти на нього з силою  $F_1 = 5 \text{ Н}$  (рис. 81, а). Водночас будемо тягнути

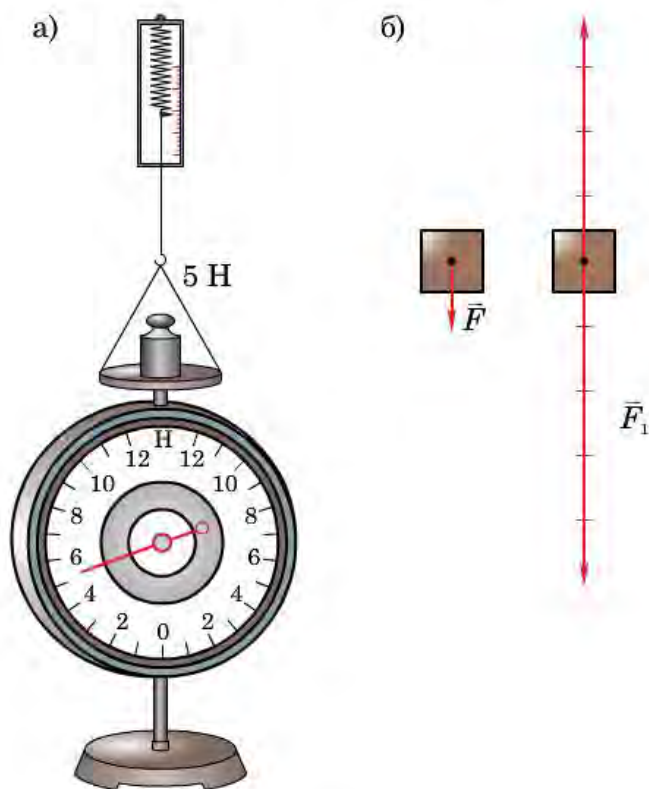


Рис. 81

столик вертикально вгору з силою  $F_2 = 4$  Н. Сила  $\vec{F}_1$  спрямована вертикально вниз, а сила  $\vec{F}_2$  — вертикально вгору. Динамометр з круглим циферблатом покаже силу  $F = 1$  Н. Це і буде рівнодійна сил  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$ .

Схематично результати досліду зображені на рис. 81, б). Тут графічно сила зображена стрілкою певної довжини з урахуванням масштабу. У цьому випадку модуль рівнодійної сили  $F$  дорівнює різниці модулів цих сил:

$$F = F_1 - F_2.$$

Напряmlена рівнодійна у бік більшої сили. Отже, можна зробити наступний висновок.

**Модуль рівнодійної двох сил дорівнює різниці модулів цих сил, якщо діючі сили напрямлені вздовж однієї прямої у протилежних напрямках. Рівнодійна двох сил у цьому разі напрямлена в бік більшої за модулем сили.**



### Запитання для самоперевірки

1. Яку силу називають рівнодійною?
2. Як знайти рівнодійну двох сил, які діють уздовж однієї прямої в одному напрямі; у протилежних напрямках?
3. Як графічно зображають сили?



### Завдання 19

1. Чому дорівнює рівнодійна двох сил  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$ , які діють на візок (рис. 82)? Що ви можете сказати про рух візка?
2. На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої:  $F_1 = 100$  Н,  $F_2 = 150$  Н,  $F_3 = 250$  Н. Знайдіть їхню рівнодійну. Розгляньте усі можливі випадки і зробіть до них пояснючі рисунки.



Рис. 82

3. Великий залізничний поїзд іноді везуть два тепловози. Один з них діє на вагони із силою 100 кН, другий – із силою 150 кН. Яку силу повинен прикласти до вагонів один, потужний тепловоз, щоб забезпечити такий самий рух поїзда?

## §30. Сила тяжіння

✓ Наведіть приклади явищ, пов'язаних із притяганням тіл до Землі.

**1** Подивіться, як поводить себе м'яч, який ви тримаєте на долоні (рис. 83, а). М'яч знаходиться у спокої, і ви відчуваєте з його боку дію деякої сили. Але якщо м'яч відпустити, він упаде на землю (рис. 83, б). І як би ви не пробували кинути цей м'яч — вертикально вгору (рис. 83, в), горизонтально (рис. 83, г), або під кутом до горизонту, — він усе одно падатиме на землю.

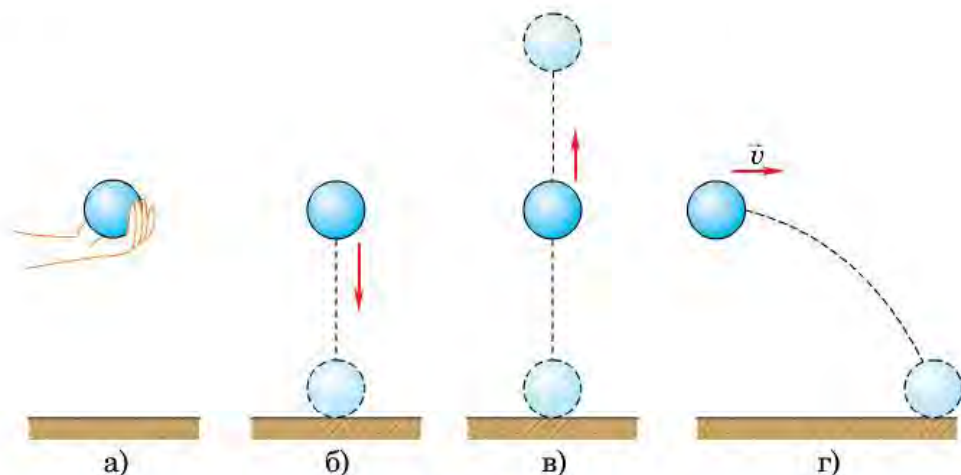


Рис. 83

Причиною падіння м'яча є дія на нього з боку Землі. Земля притягує до себе усі тіла: людей, автомобілі, будинки, воду морів і океанів, Місяць тощо. Силу, з якою Земля притягує до себе тіла, називають силою тяжіння ( $\vec{F}_{\text{тяж}}$ ).



**2** На основі численних дослідів встановлено, що сила тяжіння прямо пропорційна масі тіла. У цьому легко переконатися: візьміть в одну руку тенісний м'яч, а в іншу – камінь або металеву кулю приблизно такого самого об'єму. Ви відразу помітите, що камінь або металева куля значно важчі за тенісний м'яч, тобто сила тяжіння, яка діє на тіло більшої маси, теж буде більшою. Можна почергово випустити з рук м'яч і камінь (або кулю), і, поставивши ногу так, щоб вони упали на неї (тільки краще взуйтеся в кросівки!), ви переконаєтесь у зробленому вище висновку. Отже:

$$F_{\text{тяж}} \sim m.$$

Але, щоб записати це співвідношення у вигляді рівності і визначити силу тяжіння, потрібно ввести деякий коефіцієнт.

Такий коефіцієнт дійсно існує; його позначають літерою  $g$ . Тоді формулу для знаходження сили тяжіння можна записати у вигляді

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

**3** Який же фізичний смисл коефіцієнта  $g$ ? Щоб дати відповідь на це запитання, запишемо формулу для визначення сили, що діє на тіло:

$$F = ma.$$

Порівнявши дві останні формули, ми побачимо, що коефіцієнт  $g$  — це прискорення. Це справді так. Достатньо пригадати, що усі тіла, якщо їх ніщо не утримує, падають на Землю. Досліди показують, що падіння, якому ніщо не перешкоджає, є рівноприскореним рухом. Початкова швидкість м'яча, який випустили з рук, дорівнює нулю, а потім вона починає рівномірно збільшуватися. Особливий інтерес являє *вільне падіння* — це рух тіла лише під дією сили тяжіння, якому ніщо не перешкоджає. Падіння м'яча не є, строго кажучи, вільним падінням, адже його рухові перешкоджає повітря. Проте цей рух близький до вільного падіння. Г. Галілей установив, що для всіх тіл для даного місця Землі прискорення вільного падіння однакове. Щоб переконатися в цьому, проведемо такий дослід. Візьмемо трубку, помістимо в неї свинцеву дробинку і пір'їнку, а потім закриємо її, розташуємо вертикально і насосом викачаємо повітря. Різно перевернемо трубку на  $180^\circ$ . Дробинка і пір'їнка впадуть

на дно трубки одночасно, тоді як за наявності повітря в трубці спочатку дна досягне дробинка, а потім — пір'їнка. Отже, вільно падаючи, кулька і пір'їнка рухалися з однаковими прискореннями.

**4** Сила тяжіння і прискорення вільного падіння – векторні величини. Вони напрямлені завжди до центра Землі.

Точні вимірювання показують, що на середніх географічних широтах, де ми живемо, прискорення вільного падіння становить  $9,81 \text{ м/с}^2$ . Проте, оскільки Земля трохи приплюснута біля полюсів і обертається навколо своєї осі, то прискорення вільного падіння на полюсах дещо більше, ніж на екваторі:  $g_{\text{п}} = 9,83 \text{ м/с}^2$ ,  $g_{\text{е}} = 9,78 \text{ м/с}^2$ .

**5** Також дещо зменшуються прискорення  $g$  вільного падіння та сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  і при підйомі високо в гори.

Було встановлено, що сила тяжіння, а отже, і прискорення вільного падіння різні на поверхні різних небесних тіл. Так, на поверхні Місяця  $g_{\text{міс}} = 1,63 \text{ м/с}^2$ , на Марсі  $g_{\text{мар}} = 3,86 \text{ м/с}^2$ , на Венері  $g_{\text{вен}} = 8,69 \text{ м/с}^2$ . Автоматичні станції, які здійснили посадку на Місяць, і американські астронавти, які побували там, підтвердили значення прискорення вільного падіння на Місяці, раніше одержане шляхом теоретичних розрахунків.



### Запитання для самоперевірки

1. Яку силу називають силою тяжіння?
2. Що є причиною виникнення сили тяжіння?
3. Поясніть фізичний зміст поняття «прискорення вільного падіння».
4. Яка фізична величина — маса чи сила тяжіння — змінюється залежно від географічної широти?



### Завдання 20

1. Чи можна порівнювати маси двох тіл, вимірюючи їх за допомогою динамометра? Яке співвідношення при цьому використовується?



2. Яка сила тяжіння діє на гирю з масою 500 г, яка знаходиться: а) на полюсі Землі; б) на екваторі; в) на поверхні Місяця?
3. У чому подібність поняття «прискорення» і «прискорення вільного падіння» і в чому між ними відмінність?
4. Яка маса свинцевої кулі, якщо динамометр, до якого вона підвішена, показує 98 Н?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку.

## §31. Вага тіла. Невагомість

✓ Яку силу називають силою тяжіння?

**1** Існує ще одна сила, з якою ви часто зустрічаєтесь у повсякденному житті. Це — вага тіла.

Що ж означає «вага тіла» у фізиці?

Повернімося до прикладів, які ми раніше уже розглядали. Завдяки взаємодії із Землею на кожне тіло діє сила тяжіння  $\vec{F}_{\text{тяж}}$ . Якщо поставити вантаж на лінійку, то під дією сили тяжіння він буде впродовж деякого часу рухатися вниз, прогинаючи лінійку (рис. 84, а). Вантаж, установ-

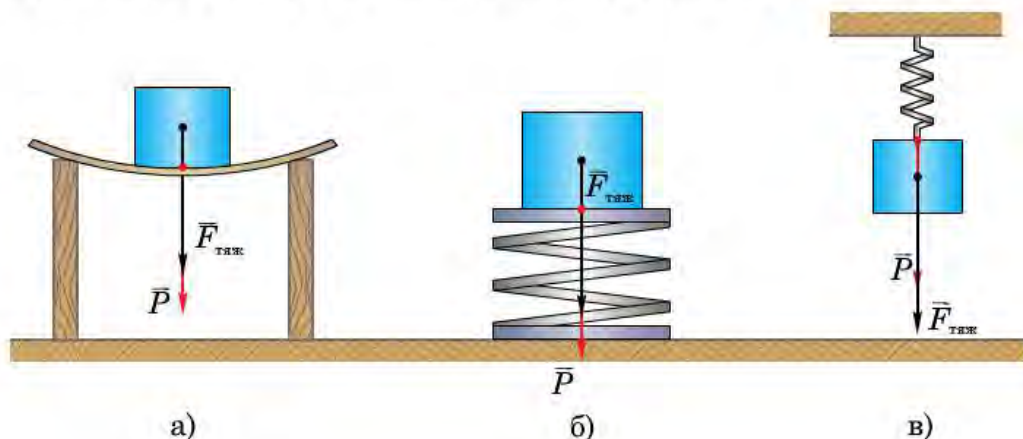


Рис. 84



лений на пружині (рис. 84, б) або підвішений до неї (рис. 84, в), переміщуючись униз, стискатиме або розтягуватиме пружину. У всіх цих випадках деформується опора або пружина.

Силу, з якою тіло внаслідок притягання до Землі діє на горизонтальну опору або розтягує підвіс, називають *вагою* тіла.

Вагу тіла прийнято позначати літерою  $P$ .

**2** Ніколи не плутайте вагу тіла і силу тяжіння! Це зовсім різні сили. Сила тяжіння виникає внаслідок взаємодії тіла із Землею і прикладена до самого тіла. Вага характеризує взаємодію тіла з опорою або підвісом. Вага  $\vec{P}$  тіла прикладена саме до опори або підвісу (зверніть увагу на рис. 84). Запам'ятайте, *сила тяжіння завжди діє на тіло, а вага — на опору або підвіс*.

**3** Ви, напевно, уже багато разів зустрічалися з поняттям «невагомість» (задумайтеся над цим словом: невагомість — не має ваги). **Невагомість** — це такий стан, коли тіло не має ваги. У вашій свідомості невагомість, мабуть, пов'язана з польотами космонавтів на космічних кораблях. Справді, якщо вам коли-небудь доводилося стрибати з trampліна або якогось-небудь підвищення, то під час польоту ви також знаходились у невагомості (точніше близькому до невагомості стані, оскільки на вас діяв опір повітря). Тоді ви не тиснули ні на яку опору і ніяка нитка чи пружина вами не розтягувалась, тобто, ніякої ваги не було. А сила тяжіння на вас увесь час діяла: завдяки їй ви і падали вниз.

Звернімося до досліду. Візьмемо невелике тіло (тягарець) і підвісимо його до нитки (рис. 85, а). Інший кінець нитки прикріпи-

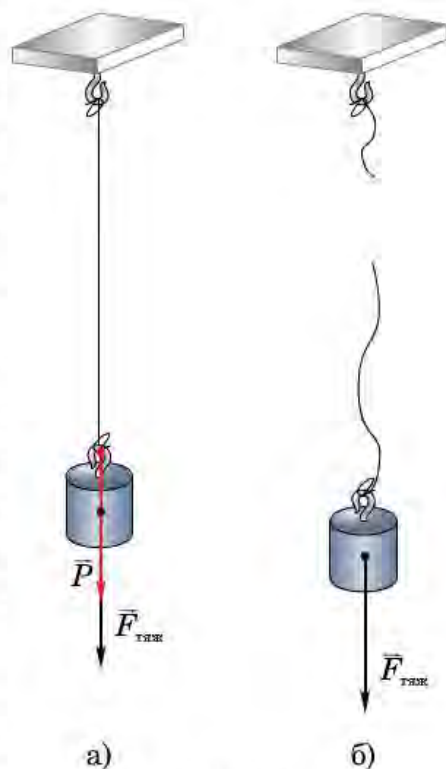


Рис. 85

мо до опори. Внаслідок дії тягарця нитка розтягується, отже, на неї діє вага тягарця. Потім перепалимо нитку і прослідкуємо за падінням тіла. Натяг нитки зник (рис. 85, б). Можна цей дослід зняти на відеоплівку, а потім в уповільненому режимі її переглянути. Таким чином, тіло, що вільно падає, не діє на нитку, яка падає разом з ним. У цьому випадку вага тіла дорівнює нулю. Але сила тяжіння продовжує діяти на тіло, змушуючи його падати вниз.

**4** Вага тіла не має постійного значення. Вона може змінюватися залежно від умов, за яких перебуває тіло. Пригадайте свої відчуття, коли ви їдете в ліфті, особливо швидкісному. Коли ліфт рушає, рухаючись угору, вам здається, що вас притискає до підлоги. Коли ж ліфт починає різко опускатися, ви ніби деякий час перебуваєте у вільному польоті. Можна проробити такий дослід: у швидкісному ліфті стати не на підлогу, а на ваги, проградуйовані у ньютонх. Ваги покажуть, що ваша вага — сила, з якою ви на них тиснете, — буде змінюватися. Спочатку, коли ліфт рушає вгору, ваша вага збільшуватиметься. Коли ж ліфт почне опускатися, ваги покажуть менше значення.

У випадку, коли тіло перебуває на нерухомій опорі, яка рухається рівномірно прямолінійно, вага тіла дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло. Ці сили мають також однакові напрями. Отже,

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = \vec{P} = m\vec{g}.$$



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають вагою тіла?
2. Чим відрізняється між собою поняття «сила тяжіння» і «вага тіла»?
3. Чи може сила тяжіння дорівнювати вазі тіла? Якщо може, то в яких випадках?
4. Як ви можете пояснити, що вага одного і того самого тіла не має постійного значення?
5. Поясніть, що таке невагомість. Наведіть приклади.





## Завдання 21

1. Якщо вдвічі зменшити масу води у склянці, то чи зміниться її вага? Якщо зміниться, то як?
2. Чому дорівнює вага 10 л нафти? Чи можна дати точну відповідь на це запитання? Відповідь поясніть.
3. Розміри мідного бруска  $5 \text{ см} \times 10 \text{ см} \times 8 \text{ см}$ . З якою силою розтягується пружина, до якої підвішено мідний брусок? Уточніть, за яких умов ваша відповідь буде правильною.
4. Маса астронавта, що перебуває на Землі, складає 80 кг. Якою буде його вага на Землі? На Місяці? У космічному кораблі під час польоту при вимкнених двигунах? Яка маса астронавта на Місяці?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте тест № 3, запропонований в електронному додатку.

## §32. Сила тертя

✓ Наведіть приклади явищ, в яких проявляється дія сили тертя.

**1** Уявіть рух автомобіля по шосе з вимкнутим двигуном, рух санчат, які з'їхали з льодяної гірки і далі продовжують рух по горизонтальній ділянці, або кульки, яка скотилася з похилої площини і продовжує рухатися по столу. Ці рухи не будуть довго продовжуватися. Швидкості цих тіл поступово зменшуватимуться, і тіла незабаром зупиняться.

Ви знаєте, якщо швидкість руху тіла змінюється, то на тіло діє якась сила. У наведених прикладах на кожне з тіл діє сила, яка перешкоджає їхньому рухові, гальмує їх.

Силу, яка виникає під час руху одного тіла по поверхні іншого і напрямлену проти напрямку швидкості руху тіла, називають силою тертя ( $\vec{F}_{\text{тер}}$ ).



Однією з основних причин виникнення сили тертя є шорсткість поверхні тіл, що дотикаються. Пригадайте, як рухається шайба або м'яч по поверхні льоду, і порівняйте з їхніми рухами по землі або асфальту. Очевидно, що по гладенькій поверхні тіло рухається до зупинки значно довше, ніж по шорсткій. Отже, сила тертя у першому випадку набагато більша, ніж у другому. Шорсткість обумовлена як макронерівностями поверхні, так і її мікронерівностями. Якщо значно зменшити розміри макронерівностей, відшліфувавши поверхні, то сила тертя повністю не зникне.

**2** Існують різні види тертя. Звичайно говорять про *тертя ковзання*, *тертя кочення* і *тертя спокою*.

На брусок, який рухається поверхнею стола (рис. 86, а), діє сила тертя, що виникає між поверхнями бруска і стола, які дотикаються. Цю силу тертя називають **силою тертя ковзання**.

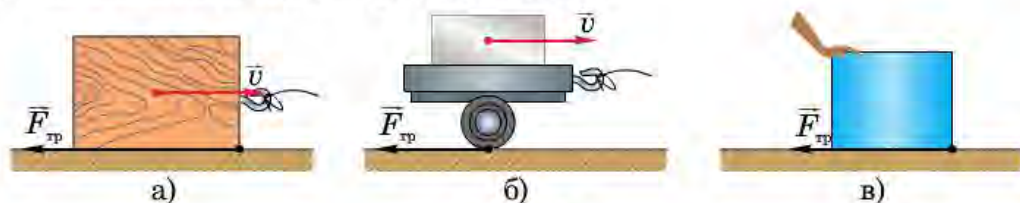


Рис. 86

Якщо покласти брусок на візок і привести його в рух, то тертя виникає між колесами візка, що обертаються, і поверхнею стола (рис. 86, б). Це вже буде **тертя кочення**. Вимірявши сили тертя у цих двох випадках, можна переконатися, що сила тертя кочення значно менша за силу тертя ковзання. Про цей факт люди знали тисячі років тому. Наприклад, для того, щоб переміщати важкі предмети, під них підкладали колоди (рис. 87). Такий спосіб використовується і сьогодні.



Рис. 87

Якщо потрібно зрушити з місця якийсь важкий предмет (рис. 86, в), доводиться прикладати немалі зусилля, оскільки сила тертя, що виникає між тілом і поверхнею, заважає рухові. Це тертя називають **тертям спокою**. Сила тертя спокою напрямлена проти того руху, який повинен був би виникнути, і дорівнює прикладеній силі. Найбільше значення сили тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання.

**3** Силу тертя можна виміряти. Наприклад, щоб виміряти силу тертя ковзання, що діє на дерев'яний брусок, прикріпимо до бруска динамометр і будемо його *рівномірно* переміщати зі швидкістю  $\vec{v}$  (рис. 88). На брусок у горизонтальному напрямі будуть діяти дві сили — сила тертя ковзання і сила пружності динамометра (сила тяги). Динамометр вимірює силу тяги  $\vec{F}_{\text{тяги}}$ . Але рівномірний рух бруска можливий лише за умови, що рівнодійна цих сил дорівнює нулю. Отже, ці сили рівні за модулем. Тому показ динамометра водночас є і значенням сили тертя ковзання  $\vec{F}_{\text{тер}}$ .

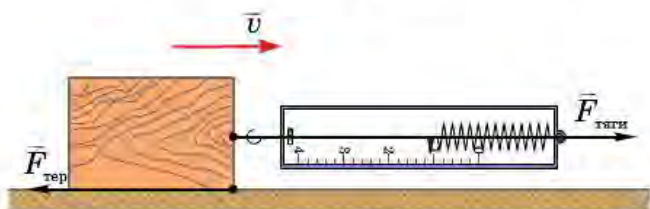


Рис. 88

**4** Продовжимо дослід і спробуємо з'ясувати, від чого залежить сила тертя. Будемо поступово навантажувати брусок, кладучи на нього додаткові вантажі, наприклад, гирки. Ми переконаємося, що при цьому сила тертя буде також збільшуватися. Чим з більшою силою брусок буде притискати до поверхні стола, тим більшою буде сила тертя ковзання. Силу, яка діє перпендикулярно до поверхні дотикання тіл, називають *силою нормального тиску*.

Її позначають літерою  $N$ . У випадках, коли тіло рухається по горизонтальній поверхні, як брусок у нашому досліді, сила нормального тиску дорівнюватиме вазі бруска ( $P_{\text{бр}}$ ). Якщо брусок навантажений, то сила



нормального тиску дорівнюватиме сумі ваги бруска і ваги покладених на нього гир ( $P_r$ ):

$$N = P_{\text{бр}} + P_r.$$

Тобто, з дослідів випливає, що сила тертя ковзання прямо пропорційна силі нормального тиску:

$$F_{\text{тер}} = \mu N,$$

де  $\mu$  — коефіцієнт пропорційності, який називається **коефіцієнтом тертя ковзання**. Як видно з останньої формули, коефіцієнт тертя ковзання двох поверхонь, що дотикаються, дорівнює відношенню сили тертя до сили нормального тиску:

$$\mu = \frac{F_{\text{тер}}}{N}.$$

**5** Сила тертя ковзання залежить не тільки від якості оброблення поверхонь, що дотикаються, але й від матеріалу, з якого виготовлені тіла. Один і той самий брусок, що рівномірно ковзає спочатку по поверхні скла, а потім по дерев'яній дошці, зазнає різного тертя. Як показують досліди, сила тертя, що виникає у першому досліді, ( $F_{\text{тер}1}$ ) буде меншою, ніж у другому ( $F_{\text{тер}2}$ ), тобто,  $F_{\text{тер}1} < F_{\text{тер}2}$ . Оскільки  $F_{\text{тер}1} = \mu_1 N$ , а  $F_{\text{тер}2} = \mu_2 N$ , то можна зробити висновок, що і коефіцієнти тертя ковзання різні:

$$\mu_1 < \mu_2.$$

Отже, коефіцієнт тертя ковзання залежить від речовин, з яких виготовлені тіла, і стану їхніх поверхонь. Відповідні досліди також показують, що *коефіцієнт тертя дуже слабо залежить від площі стикання поверхонь і від їхньої відносної швидкості руху*. Деякі значення коефіцієнтів тертя ковзання наведені у таблиці 6.

Таблиця 6

Наближені значення коефіцієнтів тертя ковзання

Дерево по дереву	0,33
Дерево по металу	0,20 – 0,50
Дерево по льоду	0,035
Сталь по льоду (ковзани)	0,015



**6** Тертя відіграє дуже важливу роль і в природі, і в техніці. Воно може бути як корисним, так і шкідливим.

Без тертя ніхто і ніщо не могло б рухатися по Землі — ні люди, ні тварини, ні машини. Пригадайте, де легше йти: по льоду чи по шорсткому асфальту? Тому й посипають піском дороги і тротуари під час ожеледиці.

Дійсно, якби не існувала сила тертя спокою, ноги пішоходів ковзали б назад, колеса автомобіля чи теплового прокручувалися б на місці й узагалі весь транспорт забуксував би і не зміг зрушити з місця. Щоб збільшити силу тертя спокою, поверхню коліс автомобілів роблять ребристою, а у випадках, коли дорога буває особливо ковзкою, на колеса надягають спеціальні ланцюги.

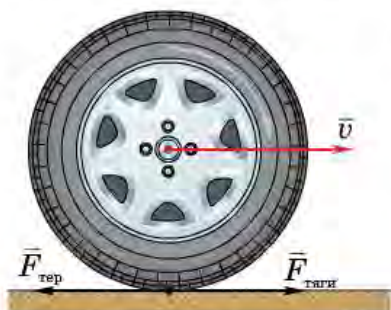


Рис. 89

Сила тертя спокою — це та сила, яка змушує рухатися автомобіль уперед (рис. 89). Внаслідок обертання колеса виникає сила тертя спокою  $\vec{F}_{\text{тер}}$ , з якою воно штовхає дорогу назад. Це призводить до появи іншої сили тертя спокою (сили тяги автомобіля  $\vec{F}_{\text{тяги}}$ ), з якою дорога штовхає автомобіль уперед.

Тертя може приносити і велику шкоду. Так, унаслідок дії тертя ковзання нагріваються і зношуються рухомі частини різних машин і механізмів. Для зменшення тертя між поверхнями, що труться, їх змащують або використовують різні *підшипники*. При змащуванні ці поверхні роз'єднуються. У цьому випадку виникає сила тертя між шарами рідини (мастила), а вона значно менша, ніж тертя між поверхнями твердих тіл.

Підшипники використовуються в різних машинах і верстатах, які мають деталі, що обертаються.

**7** Розглянемо детальніше будову і принцип дії різних підшипників, без яких неможливо уявити сучасний транспорт і промисловість.

Підшипники можна поділити на дві основні групи: *підшипники ковзання* і *підшипники кочення*.

**Підшипник ковзання** складається з корпусу (часто такого, що роз'єднується) і вкладок (рис. 90). При складанні вал машини розміщується між верхньою і нижньою вкладками, і підшипник закріплюється гвинтами. Щоб зменшити силу тертя між валом, що обертається, і вкладками, останні виготовляють з міцного матеріалу, який відрізняється від матеріалу вала. У процесі виготовлення і вкладки, і вал старанно шліфують. Крім цього, у внутрішній поверхні вкладок прорізають спеціальні борозенки, по яких розтікається мастило.

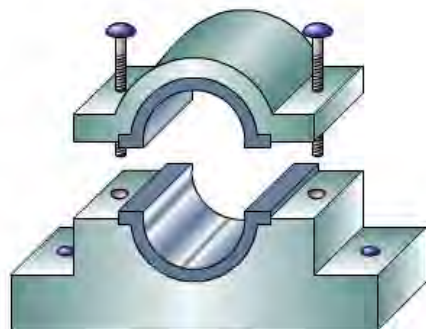


Рис. 90

Значно зручніші і надійніші в роботі **підшипники кочення**. У таких підшипниках вал під час обертання не ковзає по нерухомих вкладках, а котиться по них на сталевих кульках або циліндричних роликах. Як ви вже знаєте, сила тертя кочення значно менша від сили тертя ковзання при незмінному навантаженні. У цьому й полягає основна перевага підшипників кочення.

На рис. 91 зображені найпростіші підшипники кочення — **кульковий** (а) і **роликовий** (б). Внутрішнє кільце підшипника насаджується на вал, а зовнішнє закріплюється в корпусі машини. Між кільцями розташовані кульки або ролики, по яких котиться внутрішнє кільце з валом.

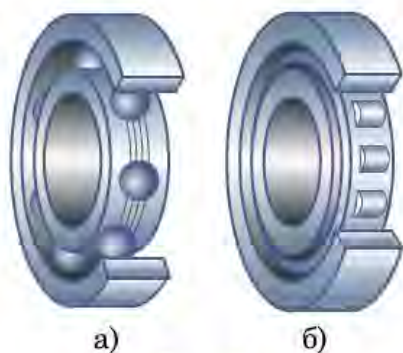


Рис. 91

Підшипники різних видів мають свої переваги й недоліки. Тому інженери й конструктори, створюючи нові механізми і машини, використовують переваги різного типу підшипників. Так, в автомобілі можна знайти і підшипники кочення, і підшипники ковзання.

У потужних, наприклад, авіаційних двигунах, використовують особливі, так звані **голчасті** підшипники (рис. 92). У них між кільцями зна-





Рис. 92

ходяться рясно змащені голки. Спочатку цей підшипник працює як роликовий — голки перекочуються по поверхнях кілець. Зі збільшенням частоти обертання вала голки перестають обертатися і утворюється ще одне кільце, яке ковзає між внутрішнім і зовнішнім кільцями. Інакше кажучи, голчастий підшипник являє собою водночас і підшипник кочення, і підшипник ковзання. Він має переваги підшипників обох типів.



## Запитання для самоперевірки

1. Яку силу називають силою тертя?
2. Які бувають види тертя?
3. Як можна виміряти силу тертя?
4. Назвіть причини виникнення сили тертя.
5. Яку силу називають силою нормального тиску?
6. Що таке коефіцієнт тертя ковзання? Чи має він певну одиницю вимірювання?
7. Від чого залежить коефіцієнт тертя ковзання?
8. Корисна чи шкідлива сила тертя? Наведіть приклади.
9. В яких випадках сила тертя напрямлена в бік напрямку руху?
10. Яка будова підшипників ковзання? Як вони працюють?
11. Яка будова підшипників кочення? Як вони працюють?



## Завдання 22

1. Напишіть невеликий твір на тему «Що було б зі мною, якби зникла сила тертя?».
2. Який вид тертя має місце у наступних випадках:
  - 1) катання з гірки на санчатах;
  - 2) рух автомобіля;
  - 3) рух деталі на транспортері;



- 4) катання на роликових ковзанах;
- 5) ходьба, біг;
- 6) катання на водних лижах;
- 7) катання на дошці для віндсерфінгу?
3. Чому небезпечно їздити на автомобілі зі старими, «лисими», шинами коліс?
4. Парашутист, маючи масу 70 кг, рівномірно опускається вниз. Визначте силу опору повітря, яка діє на парашутиста.
5. Знайдіть коефіцієнт тертя між шинами коліс автомобіля, який рухається рівномірно по горизонтальній прямолінійній ділянці дороги, і дорогою, якщо маса автомобіля 6 т, а двигун розвиває силу тяги 30 кН.
6. Як можна збільшити або зменшити силу тертя? Наведіть відповідні приклади.
- 7\*. Побудуйте графік залежності сили тертя ковзання від сили нормального тиску. Від чого залежить кут нахилу цього графіка до осі абсцис?
- 8\*. Дерев'яний брусок з масою 3 кг рівномірно тягнуть по горизонтальній дерев'яній підлозі за допомогою динамометра. Знайдіть видовження пружини динамометра, якщо її жорсткість становить 3 Н/см.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку.



## Лабораторна робота № 9

### Визначення коефіцієнта тертя ковзання

**Мета роботи.** 1. Навчитися вимірювати силу тертя ковзання і визначати коефіцієнт тертя ковзання. 2. Встановити залежність між силою тертя ковзання, яка діє на тіло, що рухається рівномірно, і силою його нормального тиску.

**Обладнання.** 1. Дерев'яний брусок. 2. Набір тягарців. 3. Динамометр. 4. Дерев'яна лінійка.



### Хід роботи

1. Прикріпіть динамометр до бруска, розташуйте горизонтально лінійку і рівномірно переміщайте по ній брусок (рис. 93).



Рис. 93

2. Виміряйте силу тертя ковзання, яка діє на брусок без тягарця і на брусок, навантажений одним, двома і трьома тягарцями, враховуючи, що вона дорівнює силі тяги.

3. Занесіть результати вимірювання у таблицю.

№ досліду	Сила тертя $\bar{F}_{\text{тер}}$ , Н	Сила нормального тиску $N$ , Н	Коефіцієнт тертя ковзання $\mu$
1. Брусок без тягарця			
2. Брусок з одним тягарцем ( $m$ )			
3. Брусок з двома тягарцями ( $2m$ )			
4. Брусок з трьома тягарцями ( $3m$ )			



4. Визначте за допомогою динамометра вагу бруска, потім послідовно його вагу з одним, двома і трьома тягарцями.

5. Дані вимірювань запишіть у таблицю, враховуючи, що вага тіла на горизонтальній поверхні дорівнює силі нормального тиску.

6. Зробіть висновок про те, як залежить сила тертя ковзання від сили нормального тиску.

7. Обчисліть коефіцієнт тертя ковзання у кожному випадку, використавши формулу  $F_{\text{тер}} = \mu N$ . Результати обчислень занесіть в останню графу звітної таблиці.

8. Зробіть висновки і запишіть їх у зошит для лабораторних робіт.

9\*. *Додаткове завдання.* Виміряйте силу тертя ковзання, яка діє на брусок, повернувши його на грань з меншою площею. Послідовно навантажуючи брусок, повторіть досліди (пункти 2 і 3) і заповніть таблицю, аналогічну попередній. Зробіть висновок про залежність сили тертя ковзання від площі опори рухомого тіла та запишіть його в робочий зошит.

### §33. Тиск твердих тіл

✓ Від чого залежить результат дії сили?

**1** Як ви думаєте, чи завжди дія однієї і тієї самої сили на одне і те ж тіло призводить до однакового результату?

Щоб одержати відповідь на це запитання, проробимо такий дослід. Візьмемо важкий металевий брусок і покладемо його на вологий пісок, насипаний у піддон, так, як показано на рис. 94, а) (на найбільшу за площею грань). Під дією ваги бруска пісок ущільниться, і на ньому залишиться слід. Тепер повторимо дослід, але поставимо брусок вертикально на найменшу грань (рис. 94, б). Результат дії сили ваги буде вже іншим: глибина сліду значно збільшиться. Неважко здогадатися, що коли покласти брусок на третю грань, то глибина сліду відрізнятиметься, як і від першого, так і від другого випадків (рис. 94, в).

Таким чином, одна і та сама сила (у розглянутих випадках вага бруска) спричиняє різну дію. Глибина сліду, тобто результат дії сили ваги бруска,



залежить від площі поверхні, на яку тіло ставлять. Чим *менша* площа поверхні грані бруска, тим *більша* глибина його сліду.

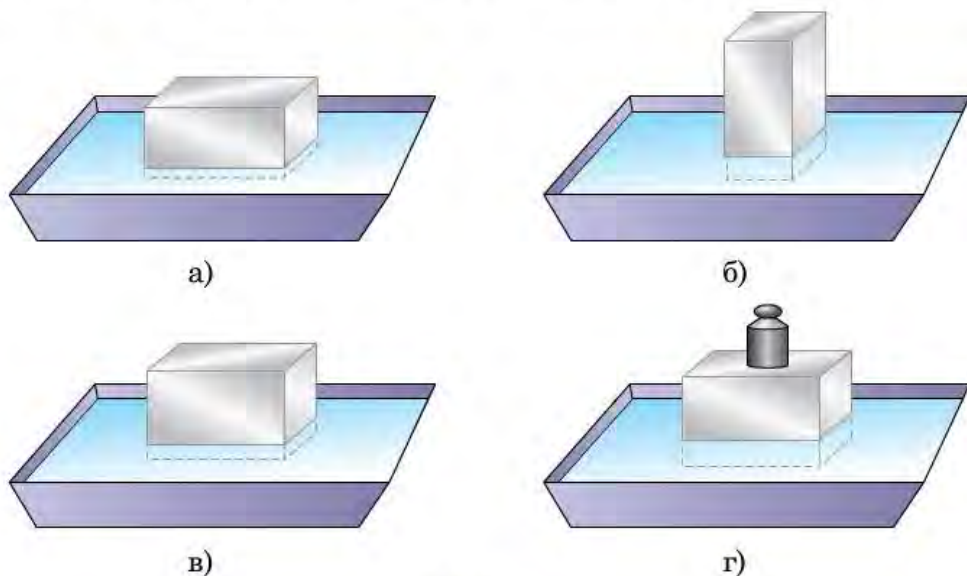


Рис. 94

Чи є висновок з цього досліду випадковим, чи така залежність дійсно існує?



Рис. 95

Два хлопчики з однаковими масами йдуть по пухкому снігу, але один на лижах, а інший — у звичайному взутті (рис. 95). Цей приклад, напевно, відомий усім. На лижах або без лиж хлопчики діють на сніг практично з однаковими силами, але дії цих сил різні. Без лиж ходити по снігу дуже важко, тому що площа підшви взуття менша (приблизно у 20 разів!) від площі лижі. Тобто, висновок, до якого ми дійшли, такий самий, як і в попередньому випадку з бруском.

**2** Результат дії сили залежить і від її величини. Чим більша сила, що діє на тіло, тим і більшим буде результат її дії.

Якщо на брусок поставити яку-небудь гирю (рис. 94, г), то сила, що діє на пісок, збільшиться; збільшиться і глибина сліду від нього на піску. Доросла людина провалиться в сніг значно глибше, ніж маленький хлопчик.

**3** У розглянутих прикладах дію викликала вага тіла, яка спрямована завжди вертикально вниз. Чи не зміняться зроблені нами висновки, якщо прослідкувати за дією якої-небудь іншої сили?

Уявіть собі, що ви намагаєтеся проткнути товстий картонний лист, прикладаючи певне зусилля, спочатку за допомогою товстого цвяха, а потім за допомогою шила (рис. 96). Вістря шила легко проткне картон, а цвях застрягне у ньому. Ви, можливо, цвяхом і проткнете лист, але для цього доведеться значно збільшити прикладену силу.

Отже, результат дії сили не залежить ні від виду сили, ні від її напрямку (вона в усіх випадках діяла перпендикулярно до поверхні).

Таким чином, *результат дії сили залежить від її модуля і від площі тієї поверхні, перпендикулярно до якої вона діє.*

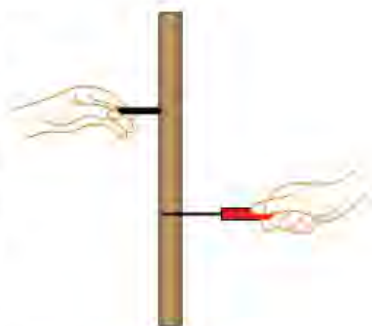


Рис. 96

**4** Силу, яка діє перпендикулярно до поверхні тіла, називають **силою тиску**. У розглянутих випадках силою тиску є вага бруска або лижника (разом з лижами), сила, з якою вістря шила діє на лист картону. Домовилися розраховувати силу тиску, яка припадає на одиницю площі поверхні тіла, що дає змогу передбачити результат дії сили. У зв'язку з цим вводять нову скалярну фізичну величину, яку називають *тиском*.

**Тиском називають відношення модуля сили тиску до площі поверхні тіла, на яку ця сила діє.** Тиск позначають літерою  $p$ . Щоб його визначити, потрібно силу тиску ( $F$ ) поділити на площу поверхні ( $S$ ):

$$\text{тиск} = \frac{\text{сила тиску}}{\text{площа поверхні}}$$



Можна записати формулу для знаходження тиску:

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

Знаючи основну одиницю сили (1 Н) і основну одиницю площі (1 м<sup>2</sup>), можна встановити одиницю тиску: ньютон на квадратний метр (1 Н/м<sup>2</sup>). **За одиницю тиску приймають тиск, який створює сила тиску 1 Н, рівномірно розподілена по поверхні площею 1 м<sup>2</sup>.**

Одиниця тиску має і свою назву, і позначення. Вона названа *паскалем* (1 Па) на честь французького вченого Блеза Паскаля.

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2.$$

1 Па — це дуже малий тиск. 1 Н — це сила тяжіння, яка діє на гирку масою 102 г. Щоб вона створювала такий тиск, потрібно, щоб її дія була рівномірно розподілена по плоскій поверхні із площею 1 м<sup>2</sup>. Можна підрахувати, що для того, щоб лижі (разом з вами) створювали на сніг тиск 1 Па, вам знадобляться лижі завдовжки 6 км. Тому в фізиці і техніці використовують більші (кратні) одиниці тиску: *гектопаскаль* (1 гПа), *кілопаскаль* (1 кПа) і *мегапаскаль* (1 МПа).

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па} = 10^2 \text{ Па};$$

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па} = 10^3 \text{ Па};$$

$$1 \text{ МПа} = 1000000 \text{ Па} = 10^6 \text{ Па}.$$

Для того, щоб краще уявити, який тиск створюють на поверхню різні тіла, наведена таблиця 7.

Таблиця 7

### Приблизні значення тисків, кПа

Колеса місяцехода на місячний ґрунт	5
Гусеничний трактор на ґрунт	40–60
Колеса легкового автомобіля на дорогу	200–300
Фундамент Ейфелевої вежі на ґрунт	270
Тиск жала бджоли	$5 \cdot 10^4$
Колеса вагона на рейки	$3 \cdot 10^5$
Тиск у центрі вибуху водневої бомби	$10^{11}$



## 5 Приклад розв'язування задачі.

Знайти тиск, який чинить на арену цирковий слон, що стоїть на одній нозі. Маса слона 3,5 т, площа підшви ноги 700 см<sup>2</sup>.

Дано:

СИ

$$m = 3,5 \text{ т}$$

$$3500 \text{ кг}$$

$$S = 700 \text{ см}^2$$

$$0,07 \text{ м}^2$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$p = ?$

Розв'язання.

За визначенням, тиск дорівнює

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

$$F = P; P = mg.$$

$$P = 3500 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 35000 \text{ Н};$$

$$p = \frac{35000 \text{ Н}}{0,07} = 500000 \text{ Па} = 500 \text{ кПа} = 0,5 \text{ МПа}.$$

Відповідь.  $p = 0,5 \text{ МПа}$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Як залежить результат дії сили від площі опори, на яку вона діє? Наведіть приклади.
2. Наведіть приклади, які б свідчили про те, що результат дії сили залежить від її модуля.
3. Що називають силою тиску?
4. Що називають тиском? Як його можна визначити?
5. Як можна збільшити або зменшити тиск?
6. Як зміниться тиск, який чинить слон, що стоїть на одній нозі на арені цирку, якщо він стане на чотири ноги?
7. Використавши дані таблиці 7, покажіть, що 1 Па — це дуже малий тиск.



## Завдання 23

1. Чому шини вантажних автомобілів роблять значно ширшими, ніж шини легкових?
2. Чи однаковий тиск чинять на поверхню столу три тіла з однаковими масами, якщо вони розташовані так, як показано на рисунку 97?

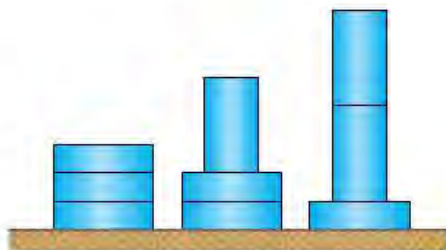


Рис. 97

3. Коли людина чинить більший тиск на підлогу — коли стоїть, чи коли йде?
4. Який тиск чинить на підлогу хлопчик з масою 48 кг, якщо площа підошви його черевика становить  $160 \text{ см}^2$ ?
5. Визначте тиск на сніг хлопчика з масою 48 кг, який стоїть на лижах. Ширина лижі 10 см, її довжина 160 см. Порівняйте отриманий результат з відповіддю до задачі 4.
6. У скільки разів тиск, який ви чините під час втискання кнопки в дошку, перевищує тиск гусеничного трактора на ґрунт? Вважайте, що ви дієте на кнопку з силою 50 Н, а площа її вістря  $0,01 \text{ мм}^2$ . Маса трактора 6,5 т, площа стикання гусениць з ґрунтом  $1,4 \text{ м}^2$ .
7. Якої найбільшої висоти можна було б виготовити колону з граніту, щоб вона не зруйнувалася під дією сили тяжіння? Граніт витримує найбільший тиск 270 МПа.
8. Площа гострого кінця голки становить  $0,01 \text{ мм}^2$ . Який тиск створить голка під час шиття, якщо на неї подіяти силою 10 Н? Відповідь подати в МПа.



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріали уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку.

## §34. Тиск рідин і газів. Закон Паскаля

✓ Чи створюють тиск рідини і газу?

**1** З попереднього параграфу ви дізналися, що тверді тіла створюють тиск на опору. У зв'язку з цим виникає запитання: чи чинять тиск рідини і газу? Кожен з вас надував дитячі повітряні кульки. Чому повітряна кулька роздувається? Дати відповідь на це запитання нам допоможе молекулярно-кінетична теорія будови речовин.

Молекули повітря безперервно хаотично рухаються і при цьому зіштовхуються між собою і зі стінками кульки. Ці удари і призводять до виникнення тиску газу на поверхню кульки або на стінки будь-якої посудини, в якій знаходиться газ. Удар однієї молекули слабкий, але всередині кульки перебуває величезна кількість молекул, тому їхній сумарний тиск на поверхню кульки відчутний.



Чим вища температура газу, тим з більшими швидкостями рухаються молекули і тим частіше й сильніше вони ударяються об стінки посудини. Отже, тиск газу на стінки посудини *збільшується з підвищенням температури*.

Якщо стиснути газ у посудині, тобто зменшити його об'єм, не змінюючи масу і температуру газу, то кількість молекул в одиниці об'єму збільшиться, збільшиться також і густина газу. Кількість ударів об стінку посудини за цих умов також збільшиться і, отже, збільшиться тиск газу. При збільшенні об'єму газу за тієї самої маси зменшаться його густина і кількість ударів молекул об стінки посудини. Тиск газу зменшиться.

Таким чином, **тиск газу тим більший, чим вища його температура і менший об'єм за незмінної маси. Або коротше: тиск газу за сталої температури тим більший, чим більша його густина і навпаки.**

**2** Розглянемо тепер, як гази і рідини передають створений на них тиск. Проробимо дослід з *кулею Паскаля*. Вона являє собою порожнисту скляну або металеву кулю, яка має у різних місцях однакові вузькі отвори з приєднаною до неї трубкою з поршнем (рис. 98). Заповнимо прилад підфарбованою водою, а потім натиснемо на поршень. З усіх отворів кулі поллються однакові цівки води. Це свідчить про те, що тиск, який ми створюємо на поверхню води в трубці, передається водою в усіх напрямках однаково. Такий самий ефект можна спостерігати, якщо кулю заповнити димом. Дим також передаватиме створений на нього тиск в усіх напрямках однаково.



Рис. 98

Передача тиску рідинами і газами в усіх напрямках пояснюється рухливістю їхніх молекул. Рухливість молекул проявляється в тому, що шари і частинки рідин та газів можуть вільно переміщатися один відносно іншого у різних напрямках.

Завдяки рухливості молекул тиск, який створює поршень на прилеглий до нього шар рідини або газу, передається наступним шарам. Молекули газу і рідини рухаються хаотично, тому їхня дія розподіляється рівномірно по всьому об'єму кулі.



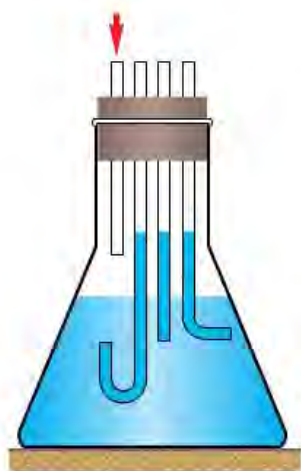


Рис. 99

**3** Проробимо ще один дослід. Пропустимо через корок, яким закрита колба, три скляні трубки з однаковим діаметром, але різної форми (рис. 99). Отвори усіх трьох трубок знаходяться на однаковій глибині, а рівень води у них такий самий, як і в колбі. Через четверту трубку за допомогою насоса будемо накачувати в колбу повітря. Побачимо, що в усіх трьох трубках вода підніметься і встановиться на однаковому рівні. Це відбувається тому, що внаслідок нагнітання повітря його тиск в колбі збільшиться. Цей надлишковий тиск повітря передається поверхневому шару води, який передає цей тиск наступним

шарам, що лежать глибше. Таким чином, створений нами надлишковий тиск передається за рахунок хаотичного руху молекул повітря і води в усіх напрямках.

Оскільки рівні води в трубках однакові, то можна стверджувати, що тиск передається рідинами і газами в усіх напрямках однаково.

**4** Узагальнюючи результати описаних вище експериментів, можна зробити висновок: **зовнішній тиск, створений на рідину або газ, передається ними без зміни у кожную точку рідини або газу.**

Останнє твердження називають **законом Паскаля**. Закон названий на честь французького фізика і математика Блеза Паскаля (1623–1662), який установив його, вивчаючи властивості рідин і газів.



Блез Паскаль

**5** Закон Паскаля знаходить досить широке застосування в техніці, наприклад, у гідравлічних машинах.

Основною частиною гідравлічної машини є два сполучені між собою циліндри з різними діаметрами, в яких можуть переміщатися поршні,

які щільно прилягають до поверхні циліндрів. Циліндри заповнені рідким маслом.

При роботі гідравлічної машини (рис. 100) на менший поршень діють з деякою невеликою силою  $\vec{F}_1$ , створюючи на рідину тиск  $p = \frac{F_1}{S_1}$ , де  $S_1$  — площа меншого поршня. За законом Паскаля, цей тиск без зміни передається у будь-яку точку рідини, в тому числі і під більший поршень. На нього з боку рідини діятиме сила тиску  $F_2 = pS_2$ , де  $S_2$  — площа більшого поршня.

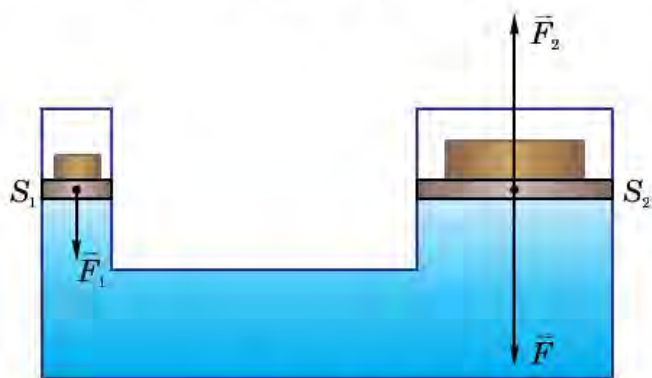


Рис. 100

Підставивши значення тиску в останню формулу, одержимо:

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

Звідси легко отримати:

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

Оскільки  $S_2 > S_1$ , то  $F_2 > F_1$ . Тобто, за допомогою гідравлічної машини **отримується вигравш у силі у стільки разів, у скільки разів площа більшого поршня перевищує площу меншого поршня.**

Це означає, що за допомогою порівняно невеликої сили  $\vec{F}_1$ , що прикладається до меншого поршня, можна зрівноважити значно більшу силу, яка прикладена до більшого поршня. Гідравлічна машина знайшла ши-



роке використання у різних гідропідійомниках і екскаваторах, за допомогою яких можна піднімати дуже важкі тіла.

Гідравлічні преси, що діють за цим самим принципом, використовуються для виготовлення різних виробів з пластмас і металів методом штампування, для пресування пористих матеріалів (наприклад, сіна, соломи), для добування олії з насіння.

Аналогічно працює гідравлічний домкрат, гідравлічне гальмо автомобіля тощо.



### Запитання для самоперевірки

1. Чим зумовлений тиск рідин і газів на стінки посудини, в якій вони знаходяться?
2. Як довести, що гази і рідини створюють тиск на стінки посудини?
3. Як залежить тиск газу від його густини за сталої температури?
4. Як експериментально довести, що рідини і гази передають тиск в усіх напрямках однаково?
5. Сформулюйте закон Паскаля.



### Завдання 24

1. Чи виконується закон Паскаля в стані невагомості?
2. Чи справджується закон Паскаля для твердих тіл? Чому?
3. Придумайте дослід, який дозволяє проілюструвати закон Паскаля, і виконайте його.
4. Який тиск у камері колеса велосипеда, якщо під час накачування у неї повітря ручним насосом на його поршень із площею  $4 \text{ см}^2$  діє сила  $40 \text{ Н}$ ? Поршень рухається рівномірно.



## §35. Тиск у нерухомих рідинах і газах

**1** Тверді тіла чинять тиск на опору внаслідок дії на них сили тяжіння. Оскільки на рідині також діє сила тяжіння, то логічно припустити, що і рідини створюють тиск на дно посудини, в якій вони перебувають. Це можна довести експериментально.

Візьмемо скляну трубку, дно якої затягнуто гумовою плівкою. Наллємо у трубку води. Ми побачимо, що плівка при цьому прогнеться (рис. 101, а). Це відбувається тому, що кожен шар води тисне на інші шари, які знаходяться нижче, і відповідно на дно посудини.

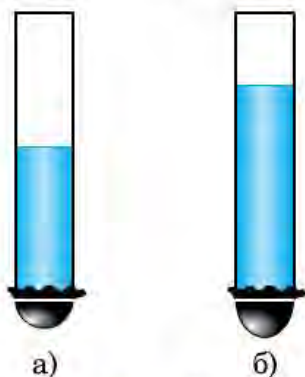


Рис. 101

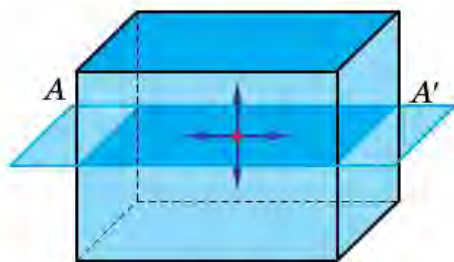


Рис. 102

Будь-яка рідина, так само, як і вода, створює тиск на дно посудини, в якій знаходиться.

Рідина чинить тиск не тільки на дно посудини, але й на її стінки; тиск існує всередині рідини на будь-якій глибині. При цьому створюваний тиск згідно із законом Паскаля передається в усіх напрямках однаково. Тобто, стовп рідини на рівні  $AA'$  (рис. 102) створює тиск і вниз, і вгору, і вправо, і вліво, в усіх інших напрямках і його величина однакова. Цей висновок можна перевірити на досліді.

Візьмемо коробочку 1, один бік якої затягнутий гумовою плівкою 2, і з'єднаємо її гумовою трубкою з приладом, який вимірює тиск (рис. 103). Цей прилад називається **рідинним манометром**. Він являє собою U-подібну трубку. У манометр налита рідина.

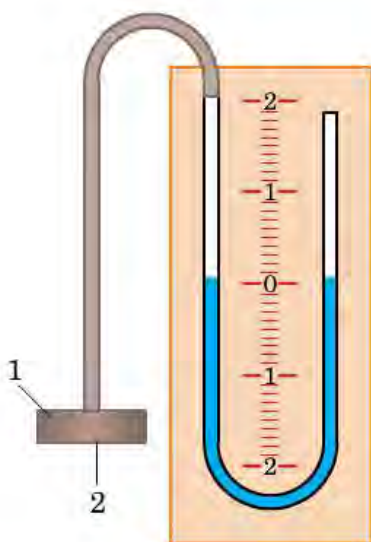


Рис. 103

За однакових тисків на поверхню рідини в обох трубках (колінах) манометра її рівні однакові. Якщо тиск на рідину в одному з колін більший, ніж у другому, то рівень рідини у ньому нижчий. Відповідно, чим більша різниця рівнів рідини в трубках, тим більший тиск.

Зануримо коробочку у воду на деяку глибину  $h$  і будемо її повертати, не змінюючи глибини (рис. 104). Ми побачимо, що різниця рівнів рідини в трубках манометра не змінюється. Отже, *тиск води (як і будь-якої рідини) на одному рівні однаковий в усіх напрямках*.

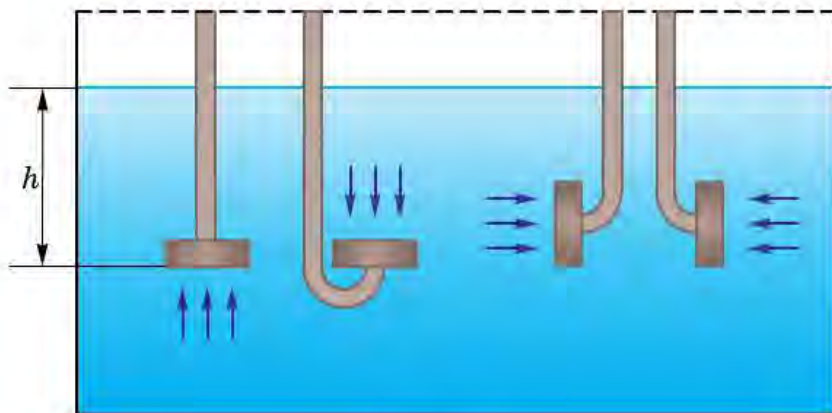


Рис. 104

Це означає, що на рівні  $AA'$  (див. рис. 102) тиски рідини на шар, що лежить нижче, і на стінки посудини однакові.

Якщо в трубку з дном, затягнутим плівкою, додати рідини, то плівка прогнеться більше (див. рис. 101, б). Таким чином, *тиск рідини на дно посудини тим більший, чим більша висота стовпа рідини*.

Цей факт можна підтвердити шляхом безпосередніх вимірювань, використовуючи ту саму коробочку, що й у досліді, зображеному на рис. 104.



Якщо занурити коробочку на більшу глибину, то різниця рівнів рідини в манометрі збільшиться, тобто збільшиться тиск рідини.

**3** Візьмемо тепер дві однакові трубки з дном, затягнутим плівкою, але в одну наллємо воду, а в іншу — до такого самого рівня олію, густина якої менша від густини води. Ми побачимо, що плівка у трубці з водою прогнеться більше, ніж у трубці з олією. Це означає, що *тиск рідини на дно посудини тим більший, чим більша густина рідини*.

**4** Далі, отримаємо формулу залежності тиску рідини на дно посудини від висоти стовпа рідини і від її густини. Щоб спростити виведення формули, будемо вважати, що рідина знаходиться в посудині, що має форму паралелепіпеда (рис. 105). Нехай площа дна  $S$ , висота стовпа рідини  $h$ , її густина  $\rho$ .

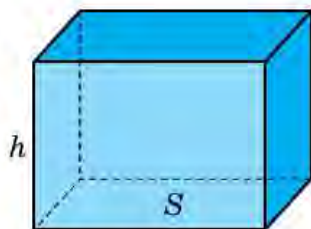


Рис. 105

Сила тиску рідини на дно посудини  $F$  дорівнює вазі рідини  $P$ . Вага рідини дорівнює добутку її маси  $m$  на прискорення вільного падіння  $g$ :

$$F = P = mg.$$

Масу рідини  $m$  знайдемо, помноживши її густину  $\rho$  на об'єм  $V$ :

$$m = \rho V,$$

де  $V = Sh$ .

Тоді

$$F = mg = \rho Vg = \rho Shg.$$

Поділивши вагу рідини (силу, з якою вона діє на дно посудини) на площу дна, одержимо вираз для тиску рідини на дно посудини  $p$ :

$$p = \frac{F}{S}, \text{ або } p = \frac{\rho g Sh}{S}, \text{ тобто}$$

$$p = \rho gh.$$

За цією формулою можна розрахувати тиск рідини на дно посудини будь-якої форми. Окрім цього, за нею можна розрахувати і тиск усередині



ні рідини на глибині  $h$ , і на стінки посудини, оскільки тиск рідини на одному рівні однаковий по усіх напрямках.


**Тиск рідини на дно і на стінки посудини дорівнює добутку густини рідини, прискорення вільного падіння і висоти стовпа рідини.**

Тиск, який чинить стовп нерухомої рідини або газу, називають *гідростатичним*.

Таким чином, шляхом теоретичного виведення підтверджено справедливність залежності, отриманої експериментально. Для цього ми спочатку побудували модель розглядуваної ситуації. Ми не враховували форму посудини і розглядали посудину правильної геометричної форми, вважаючи, що рідина не стискувалась і її густина однакова по всьому об'ємі; постійним вважали і прискорення вільного падіння. Потім виконали ряд математичних дій з фізичними величинами і одержали шукану залежність.

**5** На газ, так само як і на рідину, діє сила тяжіння, хоча і значно менша. Тому і гази створюють тиск, спричинений дією сили тяжіння. Якщо розглядати стовп газу, що має незначну висоту, то його густину можна вважати незмінною, і тиск можна розрахувати за тією самою формулою, що й тиск рідини.

### **6 Приклад розв'язування задачі.**

 Визначте тиск води, якого зазнає риба на глибині 10 м.

Дано:

$$h = 10 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$p = ?$$

Розв'язання.

$$p = \rho gh;$$

$$p = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 10 \text{ м} \approx$$

$$\approx 100000 \text{ Па} = 100 \text{ кПа}.$$

Відповідь.  $p = 100 \text{ кПа}$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Від яких величин залежить тиск рідини на дно і стінки посудини? Як довести цю залежність експериментально?
2. Виведіть формулу для розрахунку тиску рідини на дно і стінки посудини.
3. Чи можна за формулою  $p = \rho gh$  розрахувати тиск повітря на дно колодязя завглибшки 100 м?



## Завдання 25

1. Яка модель використовувалася під час виведення формули для розрахунку тиску рідини на дно і стінки посудини? Для чого при виведенні цієї формули потрібно було використовувати модель?
2. Проведіть наступний дослід. Візьміть пластикову пляшку, зробіть у ній три невеликі однакові отвори на різних висотах і заліпіть їх пластиліном. Заповніть пляшку водою, поставте її в раковину або ванну, відкрийте отвори і спостерігайте за струминками води, що витікають з пляшки. Опишіть спостережуване явище і поясніть його.
3. До скляної трубки притискають дно, виготовлене з цупкого картону, за допомогою просиленої в нього нитки (рис. 106). Трубку з дном опускають у воду на деяку глибину. Дно щільно притискається до трубки. Потім в трубку наливають воду. У той момент, коли рівень води в трубці зрівняється з її рівнем у посудині, дно відпадає від трубки. Поясніть явище.
4. У посудину налита вода. Визначте тиск води на дно посудини, якщо висота шару води 10 см.
5. Якого тиску води зазнає підводний човен, який перебуває на глибині 50 м? Яка сила тиску діє на люк у човні, якщо його площа становить  $2 \text{ м}^2$ ?
- 6\*. Бак з об'ємом  $1 \text{ м}^3$ , який має форму куба, заповнений ущертъ водою. Знайдіть силу тиску води: а) на дно куба; б) на будь-яку бічну грань.
7. Який тиск морської води на найбільшій глибині Тихого океану, яка становить 11 км 35 м? Відповідь виразіть у МПа.

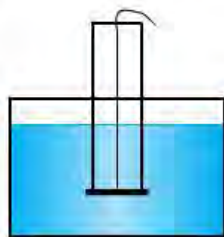


Рис. 106



## §36. Сполучені посудини

**1** Властивість рідин передавати тиск в усіх напрямках без зміни дає змогу пояснити будову сполучених посудин.

Дві або більше посудин, з'єднаних між собою так, що рідина може перетікати з однієї до іншої, називають сполученими посудинами.

Прикладами сполучених посудин можуть слугувати рідинний манометр, система водогону, водомірне скло парового котла, кровоносна система людини та інше. Найпростішими сполученими посудинами є поливальниця і чайник, яким ми користуємося щодня.

Якщо взяти дві скляні трубки і з'єднати їх гумовою трубкою, то утворяться сполучені посудини (рис. 107, а). Наливаючи воду в праву трубку, ми помітимо, що вода буде перетікати в ліву трубку. При цьому рівні води в обох трубках увесь час будуть однаковими.

Підніmemo праву трубку вище лівої (рис. 107, б). Ми помітимо, що відносно верхнього кінця правої трубки рівень води знизиться, а відносно верхнього кінця лівої трубки — підвищиться. Проте один відносно іншого рівні поверхні води в трубках залишаються однаковими, тобто будуть лежати на одній і тій самій горизонтальній площині.

Нахилимо праву трубку, залишивши ліву у вертикальному положенні (рис. 107, в). Вода у правій трубці встановиться горизонтально, і рівні води в трубках залишаться однаковими. Якщо трубки заповнити іншою

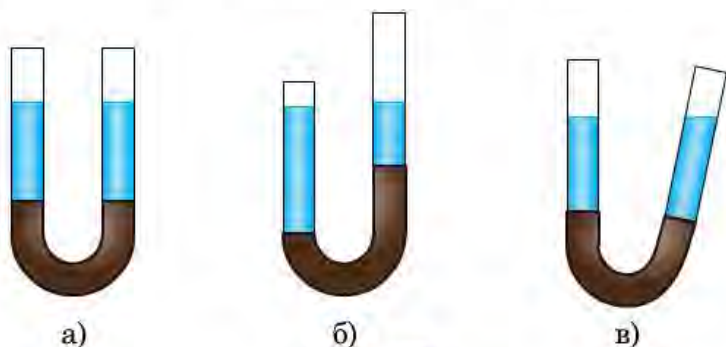


Рис. 107



рідиною, наприклад, олією, гасом чи ртуттю, то все одно рівні рідини в трубках будуть однаковими.

У сполучених посудинах поверхні однорідної рідини завжди встановлюються на одному рівні. Це твердження іноді називають *законом сполучених посудин*. Він справджується за умови, що тиск на поверхнях рідини в обох посудинах однаковий. Як ви вже знаєте, саме за різницею рівнів рідини в трубках рідинного манометра можна судити про значення тиску.

**2** Пояснити одержаний результат можна так. Рідина у посудинах не переміщається, отже, значення тиску в них на однаковому рівні, у тому числі і на дно, однакові. Рідина у посудинах має однакову густину, оскільки вона однорідна. Тоді відповідно до формули  $p = \rho gh$  висоти стовпів рідини у посудинах повинні бути однаковими.

**3** Змінимо умови досліду: у ліву трубку наллємо воду, а в праву — олію, густина якої менша від густини води. Побачимо, що рівень води у лівій трубці буде нижчим, ніж рівень олії в правій трубці (рис. 108).

Цей факт пояснюється тим, що тиск рідини на дно посудини залежить від висоти стовпа рідини і від її густини. За однакових тисків на дно чим більша густина рідини, тим менша висота її стовпа. У цьому досліді густина олії менша за густину води, тому висота стовпа олії більша за висоту стовпа води.

Цей висновок також можна отримати аналітично (використавши формули). Нехай густина води  $\rho_1$ , висота її стовпа  $h_1$ , тиск водяного стовпа на рівні  $AB$  посудини  $p_1 = \rho_1 gh_1$ . Густина олії  $\rho_2$ , висота стовпа  $h_2$ , його тиск на рівні  $AB$  посудини  $p_2 = \rho_2 gh_2$ .

Оскільки  $p_1 = p_2$ , то  $\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$ . Звідси  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$  або

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

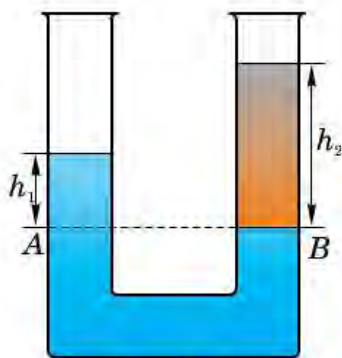


Рис. 108

Таким чином, рідини, що мають різні густини, встановлюються у сполучених посудинах на різних рівнях; у скільки разів густина однієї рідини більша за густину іншої, у стільки разів менша висота її стовпа за рівності тисків на поверхні в обох посудинах.



### Запитання для самоперевірки

1. Які посудини називають сполученими?
2. Наведіть приклад сполучених посудин.
3. Чому в сполучених посудинах рівні однорідної рідини однакові, а рідин, що мають різні густини, різні?
4. Яке співвідношення між висотами стовпів рідин з різною густиною у сполучених посудинах та їхніми густинами?



### Завдання 26

1. Поясніть принцип дії рідинного манометра.
- 2\*. Сполучені посудини частково заповнили ртуттю. У праву посудину доливають шар води заввишки 30 см. Визначте перепад висот  $h$  між рівнями поверхні води у правій посудині і рівнем ртуті у лівій.
3. В одному коліні сполучених посудин знаходиться вода, а в іншому — гас. Рівень якої рідини вищий і в скільки разів?

## §37. Атмосферний тиск

✓ Як ви думаєте, чи має масу повітря і чи чинить воно тиск?

**1** Ви добре знаєте, що планета Земля оточена газовою оболонкою — атмосферою. До складу атмосфери входять такі гази, як азот, кисень, вуглекислий газ, аргон, водень та ін. Повітря, як і інші гази, має масу. Це можна показати на досліді.

Візьмемо скляну колбу, щільно закриємо її корком зі вставленою в нього гумовою трубкою із затискачем. Викачаємо насосом з колби повітря, пе-





рекриємо затискачем трубку і зрівноважимо колбу на терезах (рис. 109). Потім відкриємо затискач на гумовій трубці і побачимо, що рівновага терезів порушиться. Це означає, що колба стала важчою, коли в неї впустили повітря.

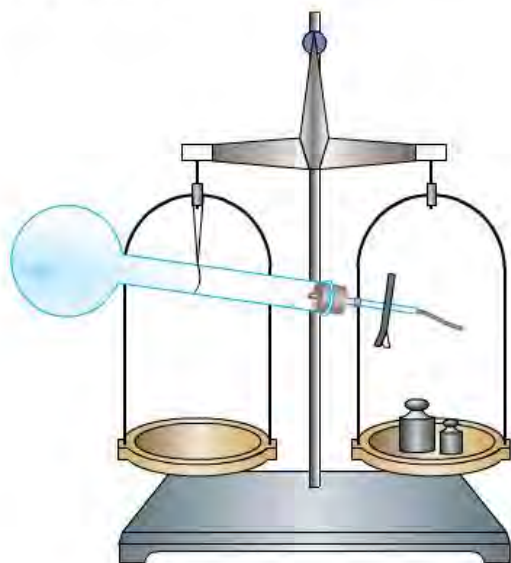


Рис. 109



Рис. 110

**2** Оскільки повітря має масу, то на нього діє сила тяжіння, внаслідок чого вона створює тиск на поверхню Землі і на всі тіла, що знаходяться на ній.

**Атмосферним тиском називають тиск повітряної оболонки Землі на її поверхню і на всі тіла, що знаходяться на ній.**

В існуванні атмосферного тиску легко переконатися на досліді. Опустимо у воду кінець скляної трубки з поршнем, який щільно прилягає до її внутрішньої поверхні (рис. 110). Якщо далі поршень піднімати вгору, то вода буде підніматися по трубці услід за ним.

Це відбувається тому, що при підніманні поршня між ним і поверхнею води створюється розріджений простір. На вільну поверхню води в посудині діє атмосферний тиск, який згідно із законом Паскаля передається



без змін в усіх напрямках, у тому числі і в напрямі трубки. Таким чином, атмосферний тиск і змушує воду підніматися услід за поршнем.

**3** Виникає запитання: як розрахувати величину атмосферного тиску? Очевидно, що використовувати формулу, за якою ми раніше розраховували тиск стовпа рідини, тут не можна, оскільки для цього потрібно знати висоту атмосфери і густину її повітря. Але, як вам відомо, певної чіткої межі атмосфери не існує, а густина повітря з висотою зменшується. Вважається, що атмосфера сягає висоти кілька тисяч кілометрів, плавно переходячи у дуже розріджене міжпланетне середовище. Тому розрахувати атмосферний тиск дуже складно, але його можна виміряти.

**4** Уперше атмосферний тиск виміряв італійський учений **Еванжеліста Торрічеллі** (1608–1647). Його дослід полягав у наступному. Скліяну трубку завдовжки біля 1 м, запаяну з одного кінця, вщерть заповнювали ртуттю. Закривши відкритий кінець трубки, її перевертали і вертикально опускали в посудину із ртуттю (рис. 111). Потім цей кінець трубки відкривали. Частина ртуті виливалася з трубки в посудину, а більша частина залишалася в трубці. Висота стовпа ртуті, що залишалася в трубці, виявилася рівною біля 760 мм.



Еванжеліста Торрічеллі

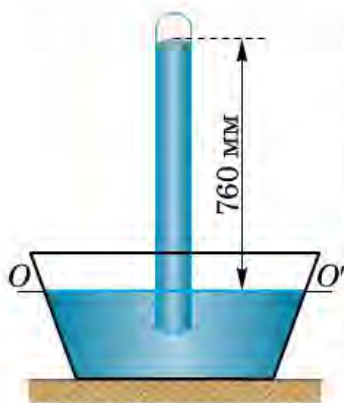


Рис. 111

Пояснити цей дослід можна так. Атмосферний тиск діє на ртуть у посудині і передається нею в усіх напрямках. На рівні  $OO'$  цей тиск діє на ртуть у трубці знизу вгору і зрівноважує тиск стовпа ртуті в трубці. У трубці над ртуттю повітря немає, там безповітряний простір, або, як його називали у XVII ст., торрічеллієва пустота. Якщо точно, то над ртуттю у трубці знаходиться пара ртуті, але її тиск надзвичайно низький і ним зазвичай нехтують.

Отже, атмосферний тиск дорівнює тиску, який чинить стовп ртуті на рівні  $OO'$  заввишки 760 мм. Цей тиск називають **нормальним атмосферним тиском**.

Якщо атмосферний тиск унаслідок зміни погодних умов підвищується, то висота стовпа ртуті в трубці стає більшою за 760 мм, якщо він зменшується, то стовп ртуті опускається нижче.

**5** Нормальний атмосферний тиск можна розрахувати за формулою обчислення тиску стовпа рідини заввишки  $h$ :  $p = \rho gh$ . Оскільки  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , а висота стовпа ртуті  $h = 0,76 \text{ м}$ , то

$$p = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м} = 101300 \text{ Па} \approx 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Атмосферний тиск часто виражають не в паскалях, а в міліметрах ртутного стовпа (мм рт. ст.).

1 мм рт. ст. — це тиск, який чинить стовп ртуті заввишки 1 мм. Щоб виразити цей тиск у паскалях, потрібно у формулу  $p = \rho gh$  підставити  $h = 0,001 \text{ м}$ .

$$p = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,001 \text{ м} = 133,3 \text{ Па}.$$

Отже, **1 мм рт. ст. = 133,3 Па. Нормальний атмосферний тиск становить 760 мм рт. ст. = 101300 Па  $\approx 1,01 \cdot 10^5$  Па.**

**6** Якщо до трубки, що використовувалася у досліді Торрічеллі, прикріпити вертикальну шкалу і проградуювати її в міліметрах, то вийде прилад для вимірювання тиску — **ртутний барометр**.

**7** За допомогою ртутного барометра можна досить точно виміряти атмосферний тиск, але він має деякі суттєві недоліки: пара ртуті досить токсична, барометр незручний у транспортуванні — можна розбити трубку, розлити ртуть тощо. А тому в побуті і техніці для вимірювання атмосферного тиску використовується зручний у користуванні металевий барометр — **анероїд** (у перекладі з грецької — «безрідинний»). Його зовнішній вигляд зображено на рис. 112, а).

Барометр–анероїд являє собою металеву геометрично закриту коробочку 1, з якої викачане повітря (рис. 112, б). Щоб її не роздушив атмо-





ферний тиск, поверхню коробочки роблять хвилястою. До неї приєднують сталеву пружину 2, що має форму пластини.

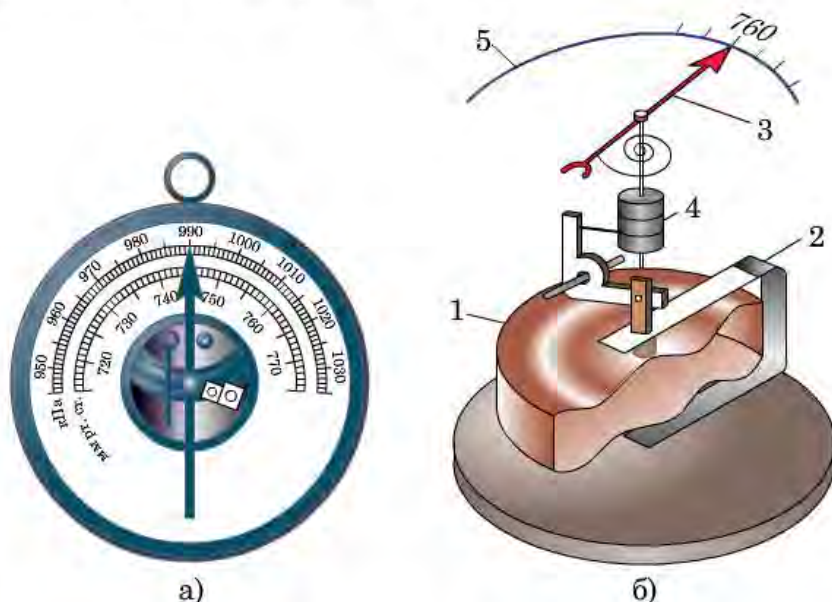


Рис. 112

Один кінець цієї пружини з'єднаний зі стрілкою 3 за допомогою спеціального пристрою 4, який забезпечує переміщення стрілки відносно шкали 5. За збільшення атмосферного тиску кінці пружини зближуються, і стрілка повертається, а її кінець зміщується вправо по шкалі. За зменшення атмосферного тиску кінці пружини віддаляються один від одного, і кінець стрілки переміщається вліво по шкалі. Шкала проградуєвана у мм рт. ст. і в гПа.

**8** Атмосферний тиск залежить від висоти над рівнем моря. Це пояснюється тим, що повітря добре стискуване, так само, як і всі гази. Верхні шари повітря діють на нижні і стискають їх. Відповідно густина повітря і тиск біля поверхні Землі більші, ніж на певній висоті над нею.

Так, у місцевості, що лежить на рівні моря, тиск становить біля 760 мм рт. ст., тобто дорівнює нормальному атмосферному тиску. У горах він менший. Вимірювання показують, що до висоти 2000 м на кожні 12 м підйому



атмосферний тиск зменшується приблизно на 1 мм рт. ст. З подальшим збільшенням висоти атмосферний тиск зменшується повільніше. Так, на висоті 8000 м він складає 267,4 мм рт. ст., а на висоті 50 км — 0,6 мм рт. ст.

**9** На тіло людини діє сила тиску атмосфери приблизно 160 кН. Таке навантаження людина може витримати тому, що воно зрівноважується тиском рідин, які заповнюють клітини і судини тіла. Але захисні властивості організму людини, що розвинулися в процесі її еволюції, не безмежні. При значній зміні тиску порушується життєдіяльність організму, змінюється швидкість хімічних реакцій у ньому.

Особливо небезпечним є значне і різке зменшення тиску: починається інтенсивне виділення газів, розчинених у крові, і вона ніби закипає. Тому водолази повинні повільно спливати з глибини, щоб газ виділявся тільки з легень.

Живі організми не тільки пристосувалися до атмосферного тиску та його змін, але й до тиску води. Так, у найглибших місцях Світового океану виявлені організми, які живуть при тиску, що приблизно у тисячі разів перевищує нормальний атмосферний тиск.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають атмосферним тиском? Чому він існує?
2. Наведіть приклади дослідів, що підтверджують існування атмосферного тиску.
3. Чи можна розрахувати атмосферний тиск так само, як тиск стовпа рідини? Чому?
4. Яка мета досліду Торрічеллі? Як він проводився?
5. Чому не виливається повністю ртуть з трубки у досліді Торрічеллі?
6. Якими приладами вимірюють атмосферний тиск? Яка їх будова і принцип дії?
7. Які існують одиниці вимірювання атмосферного тиску? Який зв'язок між ними?
8. Як і чому змінюється атмосферний тиск зі зміною висоти над рівнем моря?
9. Чому підйом водолазів з великої глибини повинен відбуватися повільно?



## Завдання 27

1. Чому молекули газів, що входять до складу атмосфери, не падають на Землю під дією сили тяжіння?
2. Чому молекули газів, що входять до складу повітря, не залишають Землю? Візьміть до уваги, що для того, щоб залишити Землю, молекула повинна мати швидкість 11,2 км/с.
3. Фонтан можна сконструювати таким способом: узяти трубку, запаяну з одного боку. З іншого боку закрити її корком, в який вставлена трубка з краном. Якщо з трубки викачати повітря, а потім помістити її у посудину з водою (рис. 113) і відкрити кран, в трубці утвориться фонтан. Поясніть дію фонтана.
4. Поясніть, як діють піпетка і шприц. Проробіть з ними досліди.
5. Який барометр дає точніші покази: ртутний чи anerоїд? Чому?
6. Повітряну кульку зав'язали і поклали під ковпак повітряного насоса, з-під якого почали викачувати повітря. Що буде відбуватися з кулькою? Чому?
7. Чи можна в досліді Торрічеллі замінити ртуть водою? Якої довжини трубку потрібно було б узяти в цьому випадку?
8. Виразіть у паскалях артеріальний тиск крові, верхня межа якого становить 120 мм рт. ст., а нижня — 80 мм рт. ст.
9. Барометр показує у класі атмосферний тиск 740 мм рт. ст., а в цей самий час біля річки — 760 мм рт. ст. На якій висоті відносно річки знаходиться школа?
10. Обчисліть, яка приблизно сила діє на людину з боку повітря, якщо атмосферний тиск становить 740 мм рт. ст. Площу поверхні тіла людини візьміть рівною  $1,5 \text{ м}^2$ .
- 11\*. Аквалангіст під час занурення у море досягнув глибини 20 м. Визначте, якого тиску він зазнав? Атмосферний тиск нормальний.
12. Проробіть наступний дослід. Візьміть склянку, вщерть заповніть її водою і зверху накрийте аркушем цупкого паперу. Притримуючи папір долонею, переверніть склянку вгору дном і відпустіть папір. Чому папір не відпадає від склянки? Чому, якщо папір проколоти, він відпаде від склянки і вся вода виллється?

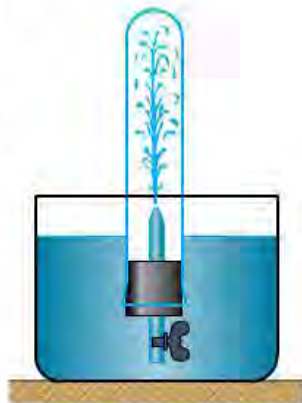


Рис. 113



## §38. Манометри і насоси

✓ Якими приладами можна вимірювати тиск рідини або газу, якщо він значно перевищує атмосферний?

**1** Для вимірювання тисків, більших або менших, ніж атмосферний, використовують спеціальні прилади — **манометри**. Слово «манометр» походить від двох грецьких слів «манос» — рідкий і «метро» — вимірюю.

Манометри бувають двох основних типів: **рідинні** і **металеві**.

Будова і принцип дії рідинного манометра вже були розглянуті раніше у §35.

На рис. 114 зображена будова **металевого** манометра. Основною його частиною є пружна, зігнута по дузі кола, тонка металева трубка 1, один кінець якої запаюний, а другий може з'єднуватися з посудиною, де вимірюється тиск рідини або газу. За підвищення тиску всередині трубки манометра вона випрямляється; якщо тиск у посудині (а отже, і в трубці) зменшується, трубка завдяки дії пружини намагається повернутися у початкове положення. Рух закритого кінця трубки 2 за допомогою важелів 3 і 4 передається на стрілку 5, яка відповідно переміщається по шкалі 6. Шкала проградуєвана або в МПа, або в *атмосферах*; 1 атм = 0,1 МПа. Таким манометром можна вимірювати тиск пари у паровому котлі, масла у гідросистемах різних пристроїв, повітря у камерах коліс транспортних засобів.

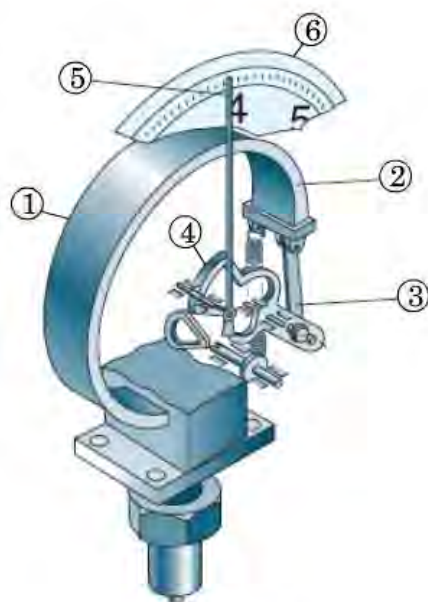


Рис. 114

**2** Виникає запитання: як можна збільшити або зменшити тиск рідини чи газу в посудині? Для цього використовують насоси. Вони бувають різних конструкцій і призначень. Ними можна збільшити тиск рідини чи газу в резервуарі, викачати повітря з посудини тощо.



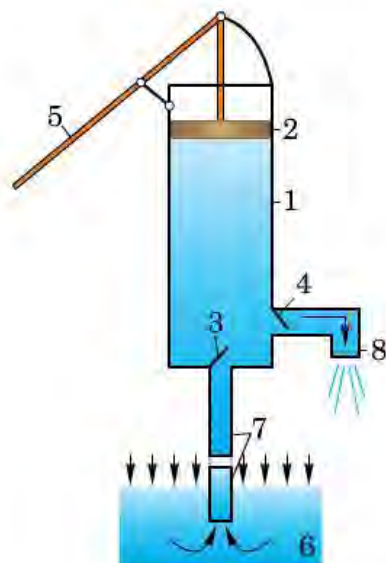


Рис. 115

Розглянемо принцип дії насосів на прикладі поршневого рідинного насоса. Ще раз коротко звернімося до досліду, схема якого подана на рис. 110 (§37). Під час переміщення поршня вгору вода переміщується услід за поршнем. Як ми вже знаємо, її туди «жене» атмосферний тиск. Явище піднімання води у трубі услід за поршнем використано при побудові рідинного поршневого насоса (рис. 115). Цей насос складається з циліндра 1, поршня 2, впускного клапана 3, випускного клапана 4. Діє він так. Якщо за допомогою рукоятки 5 поршень 2 переміщати вгору, то під ним створюється розрідження і вода під дією атмосферного тиску піднімається з резервуара 6 по трубі 7, відкриває впускний

клапан 3 і піднімається далі услід за поршнем. Випускний клапан 4 у цей час закритий внаслідок дії атмосферного тиску. Коли поршень 2 рухається униз, то вода в циліндрі передає створений ним тиск за законом Паскаля в усіх напрямках однаково. Внаслідок цього впускний клапан 3 закривається, а випускний клапан 4 відкривається, і вода під тиском потрапляє у випускну трубу 8. І так само процес повторюється з кожним наступним ходом поршня. Описаний насос називають **всмоктувальним**. За допомогою такого насоса по впускній трубі 7 воду можна підняти з глибини, не більшої за 10,3 м. Існування цього обмеження пояснюється тим, що гідростатичний тиск стовпа води такої висоти зрівноважує атмосферний тиск і вище вода за поршнем не піде.

Цікаво, що люди здавна користувалися насосами, але їхньої дії пояснити не могли. Явище піднімання води услід за поршнем вони пояснювали тим, що поршень створює розрідження, а вода піднімається тому, що «природа боїться пустоти». І тільки Торрічеллі зміг правильно пояснити це явище.

За допомогою всмоктувального насоса, правда, дещо зміненої конструкції, можна у посудині з повітрям створити розрідження, якщо її герметично приєднати до труби 7 насоса (див. рис. 115).

Тоді за кожного ходу поршня з посудини буде забиратися деяка порція повітря і виштовхуватися через трубу 8 в атмосферу. З кожним наступним ходом поршня буде захоплюватися порція повітря все меншої маси, а тому дуже високого розрідження у посудині не досягається.

Якщо ж до посудини приєднати трубу 8, то тоді насос працюватиме як **нагнітальний**. Кожен раз через трубу 7 з атмосфери надходитиме порція повітря і виштовхуватиметься поршнем у посудину через трубу 8, де тиск із часом буде зростати. За таким принципом працюють велосипедний і автомобільний повітряні насоси.

У промислових масштабах для сильного стискання повітря використовують **компресори** (від латинського «компресус» — стиснутий). Вони, по суті, є нагнітальними повітряними насосами, які приводяться в дію двигунами. Стиснене компресором повітря використовується для роботи відбійних і заклепувальних молотків, фарбопультів для розбризкування фарби з метою фарбування стін тощо. Компресори використовують також для підвищення тиску природного газу в газопроводах.

За використання *нагнітального* насоса для викачування води вже не існуватиме згаданого вище обмеження 10,3 м. Цей насос слід розташувати на глибині, де є вода, зануливши трубу 7 у воду. Трубу 8 подовжити, наприклад, надіти на неї шланг і вивести на поверхню землі. Під час роботи такого насоса вдається підняти воду на значно більшу висоту, ніж всмоктувальним насосом. Ця висота залежить лише від технічних даних насоса.



### Запитання для самоперевірки

1. Як називають прилади для вимірювання тисків, більших або менших від атмосферного?
2. Яка будова рідинного манометра? Як він діє?



3. Яка будова металевго манометра? Як він діє?
4. Яке явище використовується у роботі всмоктувального поршневого рідинного насоса?
5. Розкажіть про будову і дію поршневого насоса для викачування повітря з посудини.
6. На яку найбільшу висоту може піднятися вода услід за поршнем всмоктувального насоса? Чому?
7. Розкажіть про будову і дію нагнітального насоса.



## Завдання 28

1. Услід за поршнем всмоктувального насоса за нормального атмосферного тиску вода піднімається на висоту 10,3 м. На яку висоту за цієї умови підніметься нафта?
2. Придумайте спосіб підняття води за допомогою поршневого насоса на висоту, значно більшу за 10,3 м.
3. Манометр, установлений на підводному човні для вимірювання тиску морської води, показує тиск 2 МПа. На якій глибині перебуває човен?
4. За накачування насосом повітря в балон його тиск збільшився вдвічі. Температура весь час кімнатна. Як за цих умов змінилася густина повітря в балоні?

## §39. Виштовхувальна сила. Закон Архімеда

**1** З'ясуємо, чи діють рідини і гази на занурене у них тіло. Для цього підвісимо до динамометра кульку або якесь інше тіло. Пружина розтягнеться під дією ваги кульки, яка дорівнює силі тяжіння, що діє на неї. Зафіксуємо положення пружини (рис. 116, а).

Опустимо кульку в посудину з водою. Показ динамометра зменшиться (рис. 116, б). Отже, коли ми занурили кульку у воду, на неї, крім сили тяжіння і сили пружності пружини динамометра, стала діяти з боку рідини сила, напрямлена вертикально вгору. Цю силу називають **виштовхувальною силою**.



**2** Тепер з'ясуємо, що є причиною виникнення виштовхувальної сили. Оскільки тиск рідини залежить від висоти її стовпа, то тиск води знизу  $p_2$  більший, ніж її тиск зверху  $p_1$ . За рахунок різниці цих тисків і виникає виштовхувальна сила. Сила нормального тиску  $\vec{F}_1$ , що діє на верхню поверхню кульки, напрямлена вниз, а сила тиску  $\vec{F}_2$ , яка діє на нижню поверхню, напрямлена вгору. Оскільки сила  $\vec{F}_2$  за величиною більша від  $\vec{F}_1$ , то рівнодійна цих двох сил, яка і буде виштовхувальною силою  $\vec{F}_{\text{вишт}}$ , напрямлена вертикально вгору.

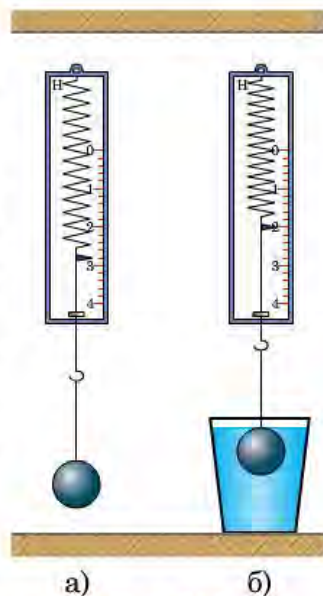


Рис. 116

**3** Розглянемо, від чого може залежати виштовхувальна сила. Підвісимо на важелі, наприклад, дві мідні кульки. Важіль буде перебувати у стані рівноваги. Опустимо обидві кульки в посудину з водою. Рівновага не порушиться (рис. 117, а).

Далі, замінимо воду в одній із посудин на концентрований розчин кухонної солі, густина якого більша за густину води. Побачимо, що рівновага

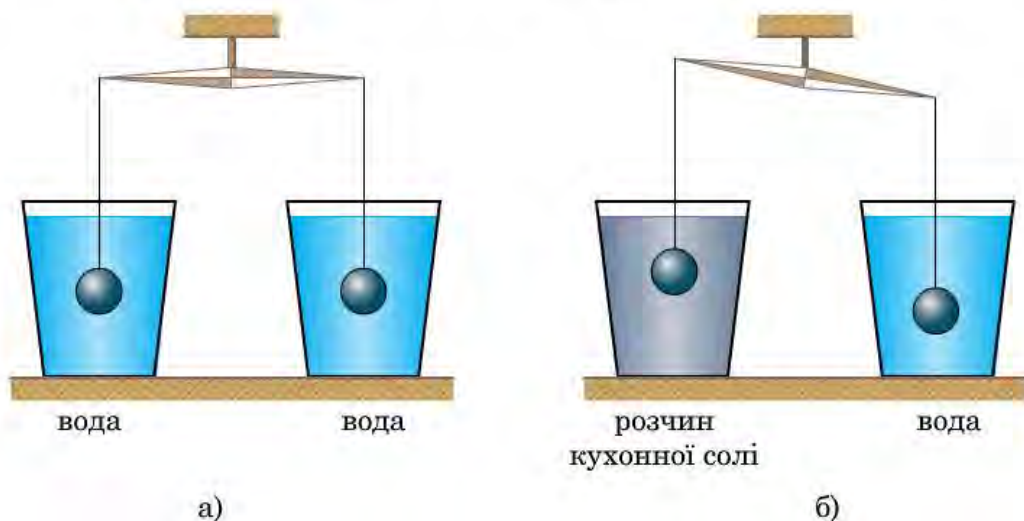


Рис. 117

при цьому порушиться: кінець важеля, до якого прикріплена кулька, занурена в розчин солі, підніметься вгору (рис. 117, б). Це означає, що на цю кульку діє більша виштовхувальна сила, ніж на кульку, занурену у воду.

Отже, *виштовхувальна сила тим більша, чим більша густина рідини, в яку занурене тіло.*

**4** Замінімо одну з кульок на іншу кульку більшого об'єму, але такої самої маси (рис. 118, а). Це можуть бути суцільні мідна й алюмінієва кульки з однаковими масами. Зрівноважимо їх, а потім опустимо в посудину з водою. Помітимо, що рівновага також порушиться. Кінець важеля, до якого підвішена кулька більшого об'єму, підніметься вгору (рис. 118, б). Це означає, що *виштовхувальна сила тим більша, чим більший об'єм тіла, зануреного в рідину.*

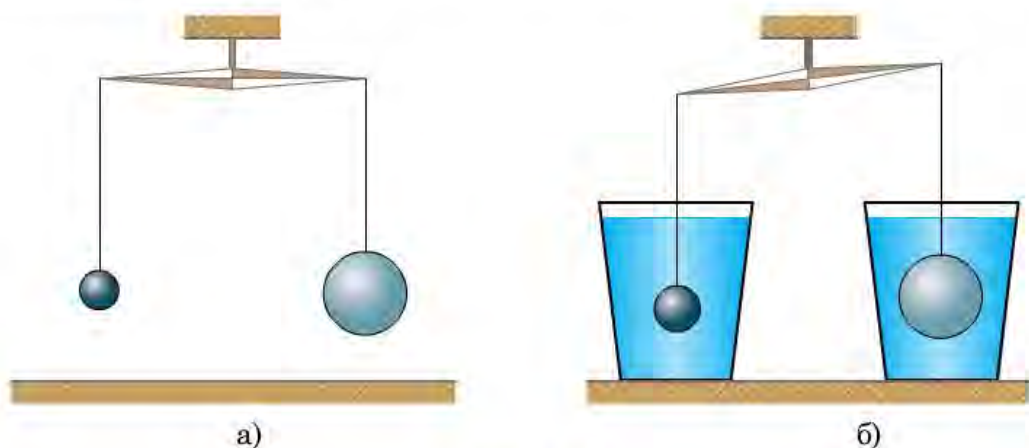


Рис. 118

**5** Експерименти свідчать, що **виштовхувальна сила дорівнює добутку густини рідини, прискорення вільного падіння й об'єму зануреного в рідину тіла**. Її можна обчислити за формулою  $F_{\text{вишт}} = \rho g V$ . Якщо в рідину тіло занурене не повністю, то в останній формулі під  $V$  слід розуміти об'єм зануреної частини тіла.

**6** Отримаємо формулу для розрахунку виштовхувальної сили теоретично. Для зручності будемо вважати, що тіло повністю занурене в рідину.



ну і воно має форму куба (рис. 119). Також будемо вважати рідину нестискуваною і її густину однаковою по всьому об'ємі.

Нехай довжина ребра куба дорівнює  $h$ , а площа його грані  $S$ . Як ми вже з'ясували, виштовхувальна сила  $F_{\text{вишт}}$  дорівнює різниці сил тиску, що діють на нижню  $F_2$  і верхню  $F_1$  грані куба:  $F_{\text{вишт}} = F_2 - F_1$ .

Сила  $F_2$  дорівнює добутку тиску рідини на нижню грань  $p_2$  і площі  $S$ , тобто  $F_2 = p_2 S$ . Аналогічно для сили  $F_1$  можна записати:  $F_1 = p_1 S$ . Тоді

$$F_{\text{вишт}} = p_2 S - p_1 S = (p_2 - p_1) S.$$

Гідростатичний тиск  $p_1$  дорівнює добутку густини рідини  $\rho$ , прискорення вільного падіння  $g$  і висоти стовпа рідини над верхньою гранню куба  $h_1$ :  $p_1 = \rho g h_1$ .

Тиск на *нижню* грань куба  $p_2 = \rho g h_2$ ,  $h_2$  — висота стовпа рідини від її поверхні до нижньої грані куба. Підставивши отримані значення тисків  $p_1$  і  $p_2$  у вираз для виштовхувальної сили, одержимо:

$$F_{\text{вишт}} = (\rho g h_2 - \rho g h_1) S = \rho g (h_2 - h_1) S = \rho g h S.$$

Добуток довжини  $h$  ребра і площі  $S$  його грані дорівнює об'єму  $V$  куба:

$$V = h S.$$

Звідси:

$$F_{\text{вишт}} = \rho g V.$$

Добуток  $\rho V$  — маса рідини в об'ємі зануреного у неї тіла, а добуток маси рідини ( $\rho V$ ) і прискорення вільного падіння  $g$  дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло. Вона у цьому випадку дорівнюватиме вазі тіла. Таким чином, на занурене у рідину або газ тіло діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу, що витіснені цим тілом.

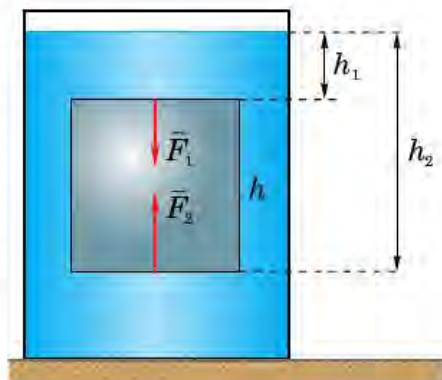


Рис. 119



Цей закон називають **законом Архімеда** на честь давньогрецького вченого **Архімеда** (287–212 рр. до н.е.), який його відкрив. Виштовхувальну силу інакше називають *архімедовою силою*, або *силою Архімеда*.

**7** На тіло, яке знаходиться у повітрі, як і в будь-якому газі, діє архімедова сила. Вона має ту саму природу, що й виштовхувальна сила, що діє на тіло в рідині. Її походження обумовлене різницею тисків на нижню і верхню поверхні тіла. Проте, оскільки густина газу набагато менша за густину рідини, то сила Архімеда, яка діє на тіло в газі, набагато менша, ніж у рідині. У багатьох випадках при розв'язуванні задач силою Архімеда, яка діє на тіло з боку повітря, нехтують і вважають, що вага тіла, яке перебуває у стані спокою, дорівнює силі тяжіння, що діє на нього.

Архімедова сила — це рівнодійна сил нормального тиску, що діють на поверхні тіла, вона прикладена у центрі його об'єму і спрямована вертикально вгору.

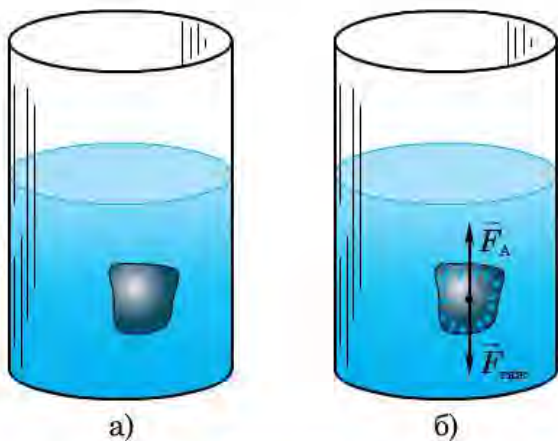


Рис. 120

Зауважимо, що правильність закону Архімеда можна довести логічно значно простіше, розглянувши *тіло будь-якої форми*, занурене в рідину (рис. 120, а). Виділимо в рідині такий самий об'єм, який займає тіло (рис. 120, б). Уявімо, що в цьому об'ємі рідина затверділа, але її густина не змінилася. Тоді вона, як і раніше, перебуватиме в стані спокою. Це означає, що сила тяжіння, яка діє на затверділу рідину  $F_{\text{тяж}} = \rho g V$ , зрівноважена

архімедовою силою  $F_A$ :  $F_A = F_{\text{тяж}} = \rho g V$ . Сила тяжіння дорівнює вазі рідини:  $F_A = F_{\text{тяж}} = P$ . Якщо далі шматок затверділої рідини замінити тілом, то величина сили Архімеда не зміниться: її величина не залежить від того, що знаходиться у виділеному об'ємі — затверділа рідина чи розглядуване тіло. В останньому випадку рівноваги вже може і не бути, тіло може

потонути, але величина архімедової сили від цього не зміниться і дорівнюватиме вазі рідини в об'ємі тіла. Наведені міркування для випадку рідини, очевидно, будуть правильними і для газу.



## Запитання для самоперевірки

1. Як експериментально довести існування виштовхувальної сили, що діє на занурене в рідину тіло?
2. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
3. Від яких величин залежить виштовхувальна сила?
4. Сформулюйте закон Архімеда. За якою формулою можна обчислити силу Архімеда? Поясніть, яке значення об'єму тіла слід підставляти у цю формулу.
5. Виведіть вираз для архімедової сили  $F_A = \rho g V$ .
6. Чи діє закон Архімеда у стані невагомості?



## Завдання 29

1. Тіло з об'ємом  $50 \text{ см}^3$  занурили у воду. Визначте силу Архімеда, що діє на нього. Чому буде дорівнювати виштовхувальна сила, якщо тіло занурити в гас? Яка сила Архімеда діє на це тіло у повітрі?
2. Порівняйте значення архімедової сили, яка діє на плавця в прісній і солоній воді, якщо його об'єм становить біля  $0,1 \text{ м}^3$ .
3. Тіло важить у повітрі  $6 \text{ Н}$ , а у воді  $4 \text{ Н}$ . Чому дорівнює об'єм цього тіла?
4. Придумайте і виконайте дослід, який доводить би існування виштовхувальної сили.
5. Придумайте і проробіть дослід, що дає змогу виміряти величину виштовхувальної сили.
6. Що важить більше:  $1 \text{ кг}$  сталі, чи  $1 \text{ кг}$  пір'я, якщо: а) зважування проводиться у повітрі; б) у вакуумі?
- 7\*. Визначте весь об'єм крижини, яка плаває у прісній воді, якщо об'єм її надводної частини  $100 \text{ м}^3$ .
- 8\*. Ви маєте мензурку з водою і невеликий кусок дерева. Як можна визначити густину дерева, користуючись лише цим обладнанням? Виконайте дослід.



- 9\* Суцільне однорідне тіло зважили у рідині з густиною  $\rho_1$  і отримали вагу  $P_1$ . У рідині з густиною  $\rho_2$  його вага становила  $P_2$ . Визначте густину речовини  $\rho_r$  з якої виготовлене це тіло, якщо  $\rho_r > \rho_1$  і  $\rho_r > \rho_2$ .
- 10 Корона, маса якої становить 9,65 кг, у воді важить 42,6 Н. Чи повністю корона виготовлена із золота?

## §40. Плавання суден. Повітроплавання

- ✓ Чому сталевий цвях тоне у воді, а корабель, корпус якого виготовлений зі сталі, плаває і навіть перевозить вантажі?

**1** Проробимо такий дослід. Візьмемо дві однакові пластини, вирізані з тонкого сталевого листа. Оскільки розміри пластин однакові, то однаковими будуть і їхні маси і на них будуть діяти однакові сили тяжіння. З однієї з пластин виготовимо коробочку і опустимо пластину і коробочку на поверхню води. Ми побачимо, що пластина потоне, а коробочка буде плавати, частково занурившись у воду (рис. 121).

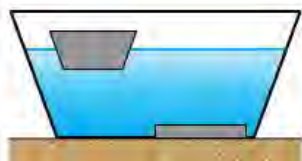


Рис. 121

Виникає запитання: чому пластина тоне, а коробочка плаває? Поведінка тіла — плаває воно чи тоне — залежить від співвідношення між силою тяжіння і виштовхувальною силою. У цьому випадку на пластину і коробочку діють однакові сили тяжіння, а, отже, на них діють різні виштовхувальні сили.

Дійсно, виштовхувальна сила залежить від об'єму рідини, яку витіснило тіло. Об'єм води, яку витіснила коробочка, більший за об'єм води, витісненої пластиною. Отже, на коробочку діє більша виштовхувальна сила, ніж на пластину, і вона плаває. Цей простий дослід дає змогу зрозуміти, як плавають кораблі.

**2** Ви вже знаєте, що тіло плаває у воді, якщо сила тяжіння, що діє на нього, дорівнює архімедовій силі, тобто вазі води в об'ємі частини тіла, яка занурена у воду. Відповідно корабель плаває у воді, якщо діюча на



нього сила тяжіння (або вага корабля з вантажем у повітрі) дорівнює вазі води, витісненій підводною частиною корабля.

Глибину, на яку занурюється корабель у воду, називають **осадкою**. Найбільша допустима осадка корабля відмічається червоною лінією на його корпусі, яка називається **ватерлінією** (голл. water — вода, lijn — лінія). Вона показує найвищий рівень, до якого може занурюватися у воду корабель у навантаженому стані.

Вага води, витісненої кораблем при його зануренні до ватерлінії, називається **водотоннажністю**. Іншими словами, водотоннажність дорівнює силі Архімеда, коли корабель занурився до ватерлінії, і вона ж дорівнює силі тяжіння, що діє на корабель з вантажем. Якщо відома водотоннажність корабля, то можна легко визначити, який найбільший вантаж він може взяти на борт. Вага цього вантажу дорівнює різниці між водотоннажністю і вагою корабля у повітрі. Цю величину називають **вантажопідйомністю** корабля.

**3** Умови плавання тіл враховуються при конструюванні підводних човнів, які повинні і занурюватися углиб, і спливати на поверхню води. У зв'язку з цим підводний човен повинен змінювати свою масу і відповідно силу тяжіння, яка діє на нього. Для цього всередині човна є баластні цистерни, які можуть заповнюватися водою. При заповненні цистерн водою, яка є за бортом, сила тяжіння, що діє на човен, збільшується, вона може перевищувати архімедову силу, і човен занурюється у воду. Коли воду з баластних цистерн витісняють стисненим повітрям за межі човна, сила тяжіння зменшується, може стати меншою за архімедову силу, і човен спливає. Під водою човен може змінювати курс і глибину за допомогою керма поворотів і керма глибини подібно до літака. Найбільші підводні човни з ядерними двигунами мають водотоннажність до 8000 т і можуть здійснити кругосвітню подорож під водою.

**4** Ви звичайно ж бачили, як кулі, заповнені легким газом, наприклад, гелієм піднімаються в повітрі. Перші повітряні кулі були винайдені в 1783 р. у Франції братами **Монгольф'є**. Кулі заповнювалися гаря-

чим повітрям. Густина гарячого повітря менша, ніж холодного, тому вага гарячого повітря у повітряній кулі менша, ніж вага витісненого ним холодного повітря. Це означає, що сила тяжіння, яка діє на гаряче повітря, оболонку кулі і вантаж, може бути меншою від архімедової сили і куля піднімається вгору. Проте, густина холодного (за  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і гарячого повітря (за  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) відрізняється усього на 27 %, тому заповнена гарячим повітрям куля не може підняти великий вантаж. Пізніше було запропоновано заповнювати кулі воднем, густина якого в 14 разів менша за густину повітря. Така куля могла підняти вантаж значно більшої маси.

**5** Вагу вантажу, який може підняти повітряна куля, називають її **підйнятною силою**.

Припустимо, що повітряна куля, наповнена воднем, густина якого становить  $0,09\text{ кг/м}^3$ , має об'єм  $1500\text{ м}^3$ , маса оболонки і обладнання  $800\text{ кг}$ . На кулю і водень, що міститься в ній, діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = 800\text{ кг} \cdot 10\text{ м/с}^2 + 0,09\text{ кг/м}^3 \cdot 1500\text{ м}^3 \cdot 10\text{ м/с}^2 = 9350\text{ Н}$ . Сила Архімеда, що діє на кулю, дорівнює

$$F_A = 1,3\text{ кг/м}^3 \cdot 1500\text{ м}^3 \cdot 10\text{ м/с}^2 = 19500\text{ Н}.$$

Тоді підймальна сила повітряної кулі

$$F = F_A - F_{\text{тяж}} = 19500\text{ Н} - 9350\text{ Н} = 10150\text{ Н}.$$

**6** Повітряні кулі, які запускають в атмосферу Землі, називають *аеростатами*. Одним з видів аеростатів є *стратостати*. Це кулі, які піднімаються на великі висоти — в стратосферу. Ці кулі використовуються для дослідження атмосфери. На початку ХХ ст., коли авіація робила перші кроки, були створені керовані повітряні апарати, легші за повітря, — *дирижаблі*. Вони мають видовжену обтічну форму для того, щоб зменшити опір повітря під час руху.

**7** Насамкінець установимо умови плавання **суцільних** твердих тіл у рідині. Візьмемо дві однакові за об'ємом мідну і дерев'яну кульки, зануримо їх у воду і відпустимо. Мідна кулька потоне, а дерев'яна — спливе. На кожну кульку у воді діятимуть архімедова сила і сила тяжіння.



Архімедова сила, спрямована вертикально вгору, буде однаковою для обох кульок:  $F_A = \rho_v g V$ , де  $\rho_v$  — густина води,  $V$  — об'єм кожної кульки. На мідну кульку діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = \rho_m g V$ , де  $\rho_m$  — густина міді. Ми бачимо, що  $F_{\text{тяж}} > F_A$ , оскільки  $\rho_m > \rho_v$ . Рівнодійна цих двох сил напрямлена в бік більшої сили ( $\vec{F}_{\text{тяж}}$ ), і мідна кулька потоне (рис. 122, а). Аналогічно для дерев'яної кульки, яка спливає у воді,  $\rho_d < \rho_v$ , де  $\rho_d$  — густина дерева (рис. 122, б).

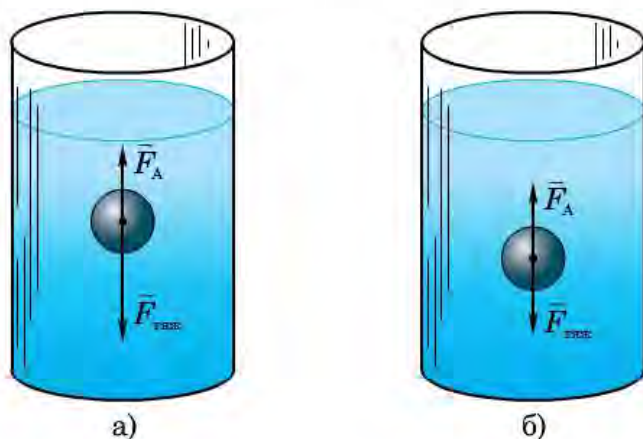


Рис. 122

Отже, суцільне тіло тоне, якщо його густина ( $\rho_t$ ) більша за густину рідини ( $\rho_p$ ), в яку воно занурене:

$$\rho_t > \rho_p.$$

Суцільне тіло плаває на поверхні рідини, частково занурившись у неї, якщо

$$\rho_t < \rho_p.$$

Можливий і третій випадок: густина суцільного твердого тіла дорівнює густині рідини:

$$\rho_t = \rho_p.$$

За цієї умови тіло може плавати на довільній глибині у завислому стані.





## Запитання для самоперевірки

1. На чому ґрунтується плавання суден?
2. Що називають осадкою корабля?
3. Що таке ватерлінія?
4. Що називають вантажопідйомністю корабля?
5. Як можна збільшити вантажопідйомність судна?
6. Що називають підйимальною силою аеростата?
7. Чому повітряна куля має обмежену висоту підйому?



## Завдання 30

1. Чому, плаваючи на спині, легше триматися на воді?
2. Чому рятувальні пояси часто виготовляють з корка?
3. При завантаженні корабля, площа дна якого становить  $1500 \text{ м}^2$ , його осадка збільшилася на 40 см. Якої маси вантаж помістили на корабель?
4. Чи можна на судно водотоннажністю 40 кН помістити вантаж масою 3000 кг, якщо маса самого корабля становить 2 т?
5. Як зміниться осадка корабля при переході з моря в річку?
6. Три повітряні кулі наповнені: одна — повітрям за температури  $100^\circ\text{C}$ , друга — воднем, третя — гелієм так, що їхні об'єми однакові. Яка куля матиме найбільшу підймальну силу?
- 7\*. Визначте підймальну силу аеростата з об'ємом  $600 \text{ м}^3$ , заповненого гелієм. Маса оболонки і корзини 200 кг. Прийняти густину гелію  $0,18 \text{ кг/м}^3$ , повітря —  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .
8. Якщо підводний човен сяде на глинисте дно, він уже не зможе спливи. Чому? Де поділася сила Архімеда?
- 9\*. Чи зануриться до ватерлінії судно водотоннажністю 120 МН і вагою 60 МН, якщо візьме на борт вантаж 5000 т?

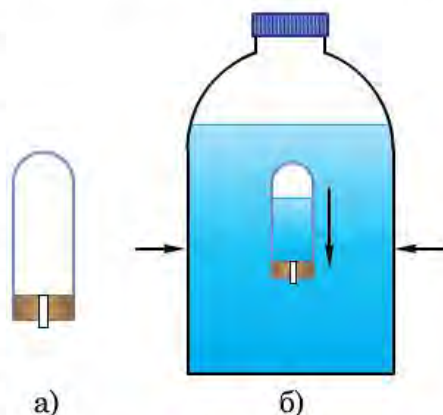


Рис. 123

10\*<sub>6</sub>. Виготовіть так званого картезіанського водолаза. Для цього візьміть невелику пластикову або скляну пробірку з-під ліків, її отвір щільно закрийте корком або пластиліном, у який вставте кусок стержня від кулькової ручки (рис. 123, а). Наберіть у пробірку трохи води так, щоб вона плавала, на 1–2 мм виступаючи з води, і помістіть її у пластикову пляшку з водою. Далі, закрийте пляшку кришкою і стисніть її руками (рис. 123, б). Добийтеся того, щоб «водолаз» спливав, тонув або зависав на певній глибині. Поясніть явище.



## Лабораторна робота № 10

### З'ясування умов плавання тіл

**Мета роботи.** 1. Закріпити вміння користуватися мензуркою і терезами.  
2. Експериментально дослідити умови плавання тіл у рідині.

**Обладнання.** 1. Терези з набором важків. 2. Пробірка з корком. 3. Мензурка з водою. 4. Сухий пісок. 5. Дротяний гачок або нитка. 6. Фільтрувальний папір або клаптик тканини. 7\*. Посудина з концентрованим розчином кухонної солі.





## Хід роботи

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть §39, §40 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи №9.

2. Розгляньте вимірювальні засоби, що є у вас на столі, та оцініть їхні характеристики. Дані про прилади занесіть у таблицю.

Вимірювальний прилад	Ціна поділки	Межа вимірювання
Мензурка		
Терези		

3. Підготуйте терези до зважування.

4. Налийте воду в мензурку і виміряйте її об'єм  $V_1$ . Результати цього та подальших вимірювань занесіть у таблицю.

№ досліду	Об'єм води у мензурці $V_1, \text{м}^3$	Об'єм води і пробірки (з піском) $V_2, \text{м}^3$	Об'єм води, витісненої пробіркою, $V = V_2 - V_1, \text{м}^3$	Виштовхувальна сила $F_A, \text{Н}$	Маса пробірки $m, \text{кг}$	Сила тяжіння, що діє на пробірку, $F_{\text{тяж}} = mg, \text{Н}$	Порівняння сил $F_A$ і $F_{\text{тяж}}$	Спостережуване явище
1.								
2.								
3.								

5. Вийміть корок з пробірки, насипте в неї сухого піску на  $\frac{3}{4}$  об'єму і закоркуйте пробірку.

6. У першому досліді обережно опустіть пробірку з піском у мензурку з водою й опишіть спостережуване явище (пробірка тоне, спливає на поверхню води чи плаває всередині неї).



7. Визначте об'єм води, витісненої пробіркою, за формулою:  $V = V_2 - V_1$ , де  $V_2$  — об'єм води і зануреної в неї пробірки.
8. Обчисліть виштовхувальну силу, що діє на пробірку з піском:  $F_A = \rho_B V$ .
9. За допомогою гачка вийміть пробірку з мензурки, витріть її фільтрувальним папером і зважте на терезах, визначивши її масу  $m$ .
10. Обчисліть силу тяжіння, що діє на пробірку з піском:  $F_{\text{тяж}} = mg$ .
11. Порівняйте архімедову силу і силу тяжіння, зазначивши у відповідному стовпчику таблиці, яка з них більша чи вони однакові.
12. У другому досліді, відсипаючи або досипаючи пісок у пробірку і щоразу закорковуючи її, досягніть того, щоб пробірка плавала всередині води на будь-якій глибині: не тонула і не спливала.
13. Як і в першому досліді, виміряйте масу пробірки з піском, обчисліть архімедову силу і силу тяжіння та порівняйте їх.
14. У третьому досліді вийміть пробірку з води, відсипте з неї не менше половини наявної кількості піску, закоркуйте, за допомогою гачка занурте у воду і відпустіть. Простежте за поведінкою пробірки.
15. Визначте об'єм  $V$  зануреної частини пробірки (об'єм витісненої нею води).
16. Як і в попередніх двох дослідях, виміряйте масу пробірки з піском, визначте архімедову силу і силу тяжіння та порівняйте їх.
- 17\*. *Додаткове завдання.* Опустіть пробірку з піском спочатку в мензурку з водою за умови, що вона плаває всередині води, а потім у мензурку з розчином солі. Опишіть, чим відрізняються результати цих дослідів та як їх пояснити. Такий дослід зручно провести відразу після другого досліді.



## Навчальний проект № 2

Використовуючи теоретичні знання та набутий досвід при виконанні завдань 29–30 і лабораторної роботи №10, виконайте навчальний проект «**Розвиток судно- та повітроплавання**» за таким планом:

1. Фізичні основи судно- та повітроплавання.
2. Історія судно- та повітроплавання.
3. Сучасний стан судно- та повітроплавання
4. На основі матеріалів, узятих в Інтернеті, оцініть перспективи розвитку судно- та повітроплавання.



## Розділ IV

# МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

### §41. Механічна робота

- ✓ Наведіть приклади різних явищ, які характеризуються поняттям «робота».

**1** Словом «робота» у повсякденному житті називають будь-яку корисну діяльність — і фізичну, і розумову. Проте у фізиці поняття роботи застосовується тільки тоді, коли тіло рухається під дією прикладеної до нього сили.

Під дією сили тяги електровоза рухаються вагони, і ця сила виконує роботу. Робота виконується, коли підйомний кран піднімає вантаж, столяр стругає рубанком дошку і т.ін.

**2** Розглянемо, від чого залежить величина виконаної роботи. Очевидно, що чим більша сила, прикладена до рухомого тіла, тим виконується більша робота. Уявіть, що вам потрібно пересунути вантаж — коробку з книгами на деяку відстань. Нехай сила, яку ви прикладаєте до коробки, дорівнює 100 Н. Потім масу вантажу збільшили: коробок стало дві, і щоб їх перемістити, необхідно прикласти силу 200 Н (рис. 124). Робота, яку ви виконали у другому випадку, буде вдвічі більшою, ніж у першому. Адже роботу з переміщення двох коробок можна розглядати як роботу з переміщення однієї коробки, виконану двічі.



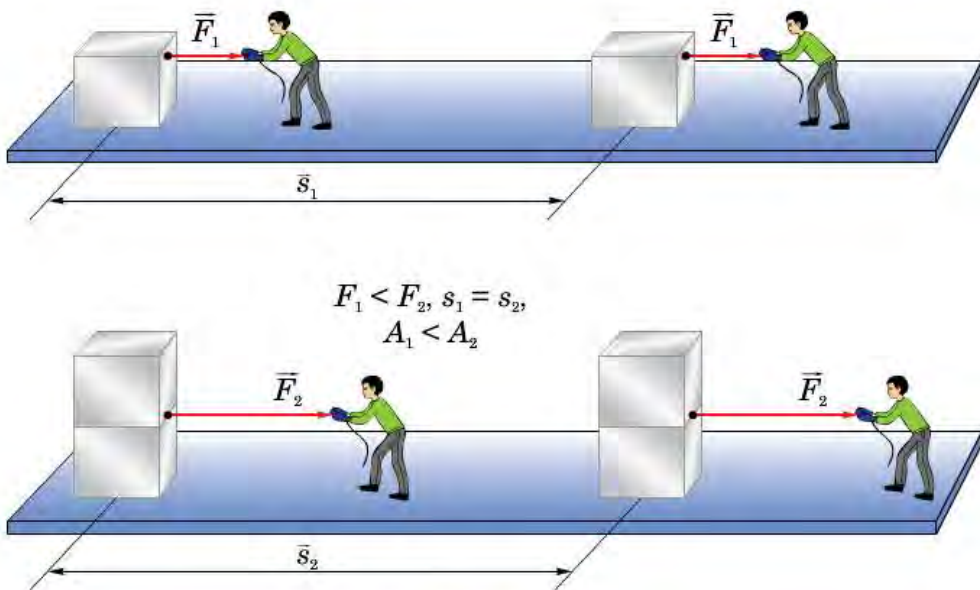


Рис. 124

Робота також залежить і від відстані (переміщення  $\vec{s}$ ), на яку переміщується тіло. Чим на більшу відстань вам довелося перетягнути вантаж (чим більше переміщення тіла  $\vec{s}$ ), тим більша виконана робота (рис. 125).

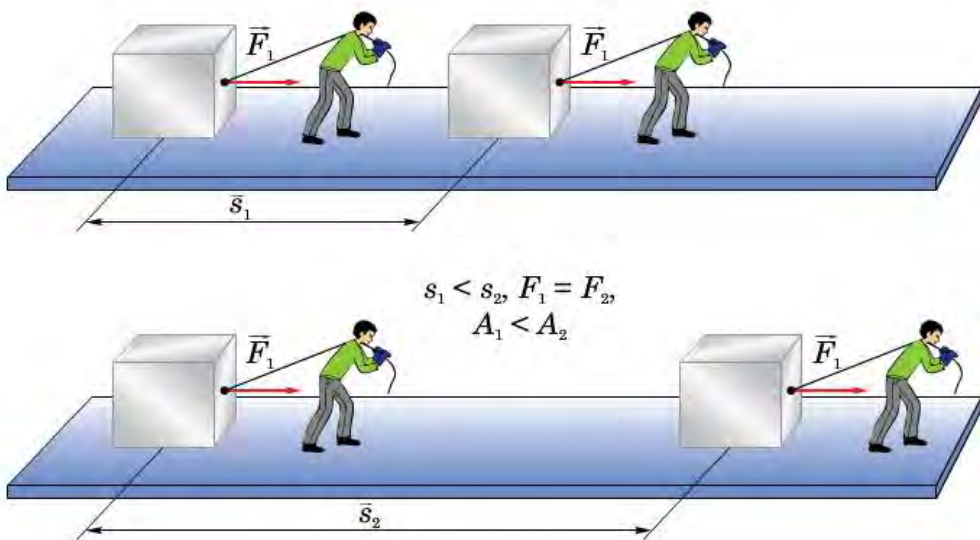


Рис. 125



**Механічна робота** — це фізична величина, прямо пропорційна силі, яка діє на тіло, і його переміщенню, здійсненому в напрямі діючої сили.

Робота — скалярна фізична величина, вона певного напрямку у просторі не має, позначається літерою  $A$ .

У випадку, коли напрям руху тіла (його переміщення) і діюча на нього сила збігаються за напрямом і сила стала, робота визначається за формулою

$$A = Fs,$$

де  $F$  — сила,  $s$  — модуль переміщення. У випадку прямолінійного руху в одному напрямі, як відомо, модуль переміщення тіла дорівнює пройденому ним шляху ( $s = l$ ).

**3** Щоб виміряти роботу, перш за все потрібно встановити її одиницю. Якщо робота виконується сталою силою  $1\text{ Н}$  при переміщенні тіла на  $1\text{ м}$  у напрямі дії сили, то така робота дорівнює одному джоулю ( $1\text{ Дж}$ ):

$$1\text{ Дж} = 1\text{ Н} \cdot 1\text{ м}.$$

Одиниця роботи названа на честь англійського вченого **Джеймса Джоуля** (1818–1889).

**4** Поняття роботи у фізиці відрізняється від роботи у повсякденному житті. Припустимо, вам потрібно пересунути якийсь дуже важкий предмет, наприклад, комод (рис. 126, а). Ви будете робити спроби змістити його, штовхаючи, упираючись об щось, розгойдувати і т.п. І все безрезультатно. Утомитеся, «наробитесь», але з точки зору фізики ваша робота дорівнюватиме нулю: комод залишився на місці. Оскільки не має переміщення ( $s = 0$ ), то й робота не виконується ( $A = 0$ ).



Джеймс Джоуль

Також робота дорівнює нулю у випадку руху тіла за інерцією (рис. 126, б). Тіло здійснює деяке переміщення ( $s \neq 0$ ), але сила у напрямі переміщення на нього не діє ( $F = 0$ ). Отже,  $A = 0$ .

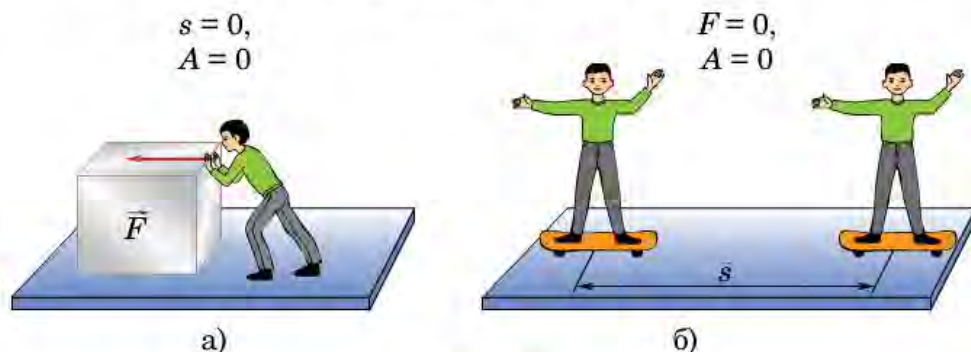


Рис. 126

**5** Якщо напрямі переміщення тіла і діючої на нього сили протилежні, то робота цієї сили від'ємна. Прикладом сили, яка виконує від'ємну роботу, являється сила тертя ковзання. На практиці використовуються кратні одиниці роботи:

$$\begin{aligned} 1 \text{ кДж} &= 10^3 \text{ Дж}, \\ 1 \text{ МДж} &= 10^6 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

### 6 Приклад розв'язування задачі.

**Задано:** Мармурову плиту з об'ємом  $0,5 \text{ м}^3$  рівномірно піднімають на висоту  $15 \text{ м}$ . Визначте роботу, яку виконує сила пружності троса, до якого прикріплена плита.

**Дано:**

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$$

$$h = 15 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$A = ?$$

**Розв'язування.**

Згідно з визначенням механічна робота дорівнює

$$A = F_{\text{пр}} s; s = h,$$

де  $F_{\text{пр}}$  — сила пружності троса,  $h$  — висота, на яку підняли плиту. Оскільки рух плити рівномірний, то

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{тяж}} = mg,$$

де  $F_{\text{тяж}}$  — сила тяжіння, що діє на плиту,  $m$  — маса плити:  $m = \rho V$ .

$$m = 2700 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,5 \text{ м}^3 = 1350 \text{ кг};$$

$$F_{\text{пр}} = 1350 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 13230 \text{ Н};$$

$$A = 13230 \text{ Н} \cdot 15 \text{ м} = 198450 \text{ Дж} \approx 198,5 \text{ кДж}.$$

Відповідь.  $A = 198,5 \text{ кДж}$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Дайте визначення поняття механічної роботи.
2. Назвіть одиницю роботи.
3. За якою формулою можна обчислити роботу?
4. В яких випадках робота дорівнює нулю?
5. В якому випадку робота від'ємна?



## Завдання 31

1. 1 Дж — це велика робота чи ні? Придумайте дослід, в якому виконується робота 1 Дж.
2. Обчисліть роботу, яку ви виконуєте під час піднімання сходами до себе в квартирі.
3. На поршень насоса діє сила 102 кН. Обчисліть, яку роботу виконує ця сила, якщо поршень перемістився на 30 см.
4. Електровоз рухається рівномірно і проходить шлях 10 км. Яку роботу при цьому виконує його сила тяги, якщо маса поїзда становить 5000 т, а коефіцієнт тертя коліс об рейки 0,005?
5. Користуючись динамометром і лінійкою, визначте роботу, яку ви виконуєте під час рівномірного переміщення бруска по поверхні стола на 75 см.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоноване в електронному додатку.



## §42. Потужність

✓ Від яких фізичних величин залежить механічна робота?

**1** Одну й ту саму роботу різні машини і механізми можуть виконувати по-різному: одні — швидше, інші — повільніше. Так, гектар землі трактор з багатолемішним плугом може виорати за 40–50 хв, тоді як коневі для цього знадобиться 10–12 год. Інший приклад: школяр може піднятися на п'ятий поверх за 1–2 хв, а людина похилого віку — не менше ніж за 5 хв.

Швидкість виконання роботи характеризується величиною, яка називається **потужністю**.

**Потужність — це фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи до інтервалу часу, впродовж якого вона була виконана.**

Потужність позначають літерою  $N$ , і її можна обчислити за формулою:

$$N = \frac{A}{t},$$

де  $A$  — робота,  $t$  — час її виконання.

**2** Одиницею потужності є **ват (1 Вт)**. 1 Вт — це така потужність, за якої робота 1 Дж виконується впродовж 1 с, тобто,

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Одиниця потужності названа на честь одного з винахідників парової машини англійського вченого **Джеймса Ватта** (1736–1819).

1 Вт — зовсім невелика потужність. Достатньо підняти гирку з масою 102 г на висоту 1 м за 1 с, переміщуючи її рівномірно, і ви можете стверджувати, що при цьому розвинули потужність 1 Вт. У техніці часто використовують більші одиниці потужності: кіловат (1 кВт) і мегават (1 МВт):

$$1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}.$$



Джеймс Ватт

У таблиці 8 наведені значення потужностей деяких двигунів.

Таблиця 8

### Потужності деяких двигунів, кВт

Мопед	1,5	Тепловоз	3000
Моторолер	8,8	Електро́воз	4000
Мотоцикл «Ямаха» (максимальна)	100	Атомний криголам «Арктика»	55200
Автомобіль «Волга»	72	Літак АН-154	144000
Автомобіль «Мерседес»	220	Двигун космічних ракет	20000000

**3** Встановимо зв'язок між потужністю, силою і швидкістю. Нехай автомобіль рухається рівномірно прямолінійно горизонтальною ділянкою дороги зі швидкістю  $\vec{v}$  і розвиває силу тяги  $\vec{F}_{\text{тяг}}$  за потужності двигуна  $N$ . Як може автомобіль рухатися рівномірно прямолінійно, адже на нього діє сила тяги, під дією якої він повинен би рухатися прискорено? Очевидно, окрім цієї сили, на автомобіль діють також інші сили: сила тяжіння  $\vec{F}_{\text{тяж}}$ , сила пружності дороги  $\vec{F}_{\text{пр}}$  і сила опору  $\vec{F}_{\text{оп}}$ . Сила опору є рівнодієюю сили тертя автомобіля об повітря і сили тертя кочення, що діє з боку землі на колеса.

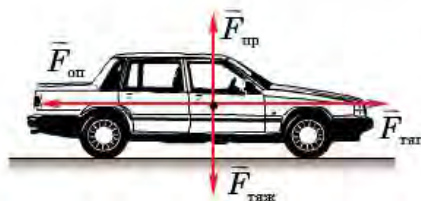


Рис. 127

Будемо вважати автомобіль матеріальною точкою і, отже, всі вказані сили будуть прикладені до неї (рис. 127). Оскільки автомобіль по вертикалі не переміщається, то сила тяжіння і сила пружності дороги зрівноважуються ( $F_{\text{тяж}} = F_{\text{пр}}$ ) і їхня рівнодійна дорівнює нулю. Сила опору і сила тяги також зрівноважені ( $F_{\text{тяг}} = F_{\text{оп}}$ ), оскільки рух автомобіля рівномірний і рівнодійна цих двох сил також дорівнює нулю. Так що рівнодійна усіх сил, які діють на автомобіль, дорівнює нулю. Зауважимо, що сила тяги двигуна автомобіля, як уже зазначалося, є не що інше, як сила тертя спокою, яка діє на ведучі колеса автомобіля з боку землі.



Виразимо потужність двигуна через роботу сили тяги і час, а також зробимо очевидні перетворення:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_{\text{тяг}} \cdot s}{t},$$

де  $s$  — переміщення автомобіля за час  $t$ ; далі, враховуючи, що  $\frac{s}{t} = v$ , отримуємо остаточний шуканий зв'язок:

$$N = F_{\text{тяг}} \cdot v.$$

Остання формула дає змогу розрахувати силу тяги, якщо відомі потужність двигуна і швидкість руху автомобіля:

$$F_{\text{тяг}} = \frac{N}{v}.$$

З іншого боку, якщо потужність двигуна змінюється, то водночас змінюється і сила тяги, і швидкість.

Як ви вважаєте, в якому випадку трактор розвиває більшу силу тяги — коли він рухається по шосе зі швидкістю 20 м/с чи працює в полі і рухається зі швидкістю 6 м/с? Нехай його двигун розвиває в обох випадках однакові потужності, які рівні максимальній потужності 60 кВт.

Проведемо розрахунки:

$$F'_{\text{тяг}} = \frac{60 \cdot 10^3 \text{ Вт}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 3 \cdot 10^3 \text{ Н} = 3 \text{ кН};$$

$$F''_{\text{тяг}} = \frac{60 \cdot 10^3 \text{ Вт}}{6 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 10^4 \text{ Н} = 10 \text{ кН}.$$

Тобто, за сталої потужності двигуна, чим *більша* швидкість руху, тим *менша* сила тяги!

Ця уявна суперечність легко розв'язується, якщо взяти до уваги, що для збільшення швидкості руху трактора повинна спочатку зменшитися сила опору. Наприклад, трактор після орання ріллі виїхав на шосе. Сила опору при цьому різко зменшилась, що дало можливість різко збільшити



швидкість. Потім трактор за такої порівняно малої сили опору та рівної їй сили тяги і буде рухатися далі з цією більшою швидкістю.

#### 4 Приклад розв'язування задачі.

Паровий молот піднімає ударник копра з масою 800 кг на висоту 0,5 м 15 разів за хвилину. Визначте потужність, яку розвиває молот при виконанні цієї роботи (рис. 128).

Дано:

$$m = 800 \text{ кг}$$

$$h = 0,5 \text{ м}$$

$$n = 15$$

$$t = 1 \text{ хв}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$N = ?$$

СІ

60 с

Розв'язання.

Робота, виконана силою тяжіння при падінні ударника копра, дорівнює  $A_1 = F_{\text{тяж}} \cdot h$ , де  $F_{\text{тяж}}$  — сила тяжіння, що діє на ударник:  $F_{\text{тяж}} = mg$ .

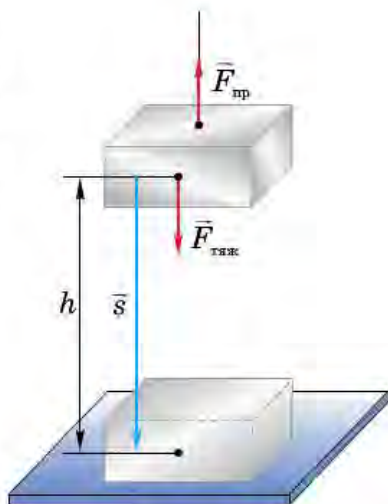


Рис. 128

Робота, виконана за 1 хв:  $A = nA_1$ .

Потужність парового молота  $N = \frac{A}{t}$ .

Проводимо обчислення поетапно.

$$F_{\text{тяж}} = 800 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 8000 \text{ Н};$$

$$A_1 = 8000 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} = 4000 \text{ Дж};$$

$$A = 15 \cdot 4000 \text{ Дж} = 60000 \text{ Дж};$$

$$N = \frac{60000 \text{ Дж}}{60 \text{ с}} = 1000 \text{ Вт} = 1 \text{ кВт}.$$

Відповідь.  $N = 1 \text{ кВт}$ .



#### Запитання для самоперевірки

1. Що характеризує потужність?
2. Що називається потужністю?
3. За якою формулою можна розрахувати потужність?
4. В яких одиницях вимірюється потужність?

5. Як, знаючи потужність і час роботи двигуна, обчислити виконану ним роботу?
6. Який існує зв'язок між потужністю, силою і швидкістю? Як його одержати?



## Завдання 32

1. Чи можна стверджувати, що потужність залежить від величини роботи й інтервалу часу, впродовж якого ця робота була виконана? Відповідь поясніть.
2. Два хлопчики по чергово піднімають з криниці повне відро води. Перший — за 20 с, другий — за 30 с. Чи однакові роботи вони виконують? Чи однакові потужності вони розвивають? Відповідь перевірте шляхом обчислень за умови, що маса відра з водою 10 кг, глибина криниці 8 м.
3. Оцініть потужність, яку ви (або ваші друзі) розвивають, збігаючи вгору по сходах. Які дані для цього вам потрібні? Які вимірювання вам доведеться зробити?
4. Підйомний кран рівномірно піднімає вантаж з масою 3 т за 0,5 хв. Потужність крана 10 кВт. Яку роботу виконав кран (точніше, сила, з якою кран діє на вантаж)? На яку висоту був піднятий вантаж?
- 5\*. Двигуни автомобілів «Мерседес» і «Волга» мають різні максимальні потужності (див. табл. 8). Чи однакових максимальних швидкостей можуть досягнути ці автомобілі?
- 6\*. Електровоз потужністю 4000 кВт тягне поїзд, розвиваючи силу тяги 200 кН. Який час потрібний для рівномірного проходження поїздом відстані між станціями 72 км?
- 7\*. За який час підйомний кран потужністю 2,5 кВт піднімає під час виконання будівельних робіт залізобетонну плиту з масою 200 кг до п'ятого поверху будинку? Висота одного поверху 3 м, плита переміщується рівномірно.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте завдання, запропоноване в електронному додатку.



## §43. Механічна енергія та її види

✓ За яких умов тіло виконує роботу?

**1** Якщо тіло здійснює під дією сили  $\vec{F}$  деяке переміщення у напрямі дії сили, то ця сила, звичайно ж, виконує роботу  $A = Fs$ . Часто говорять, що роботу виконує тіло.

Не будь-яке тіло і не за будь-яких обставин здатне виконати роботу.

Щоб переконатися у цьому, розглянемо кулю, яка лежить на горизонтальній поверхні стола. Куля перебуває у стані спокою, і ні про яку роботу не може бути й мови. Але якщо кулі дати можливість упасти з краю стола, то куля виконає певну роботу. Поставте на підлогу посудину з водою, і бризки наочно переконують вас у цьому (рис. 129, а). Отже, тіло, що перебуває у спокої на деякій висоті, роботи не виконує, але за певних умов (якщо дати йому можливість упасти з цієї висоти) здатне її виконати.

Чи виконує роботу рухоме тіло, яке не взаємодіє з іншими тілами? Ні, воно, очевидно, роботи не виконує, оскільки таке тіло рухається за інерцією і не діє на інші тіла. Чи може воно за певних умов виконати роботу? Поставимо на шляху металевої кульки, яка котиться, дерев'яний брусок. Ми побачимо, що останній зрушиться з місця після удару кульки (рис. 129, б). Отже, рухоме тіло може виконати роботу за певних умов (точніше, тут роботу виконує сила, з якою кулька діє на брусок).

Говорять, що **якщо тіло може виконувати роботу, то воно має енергію**.

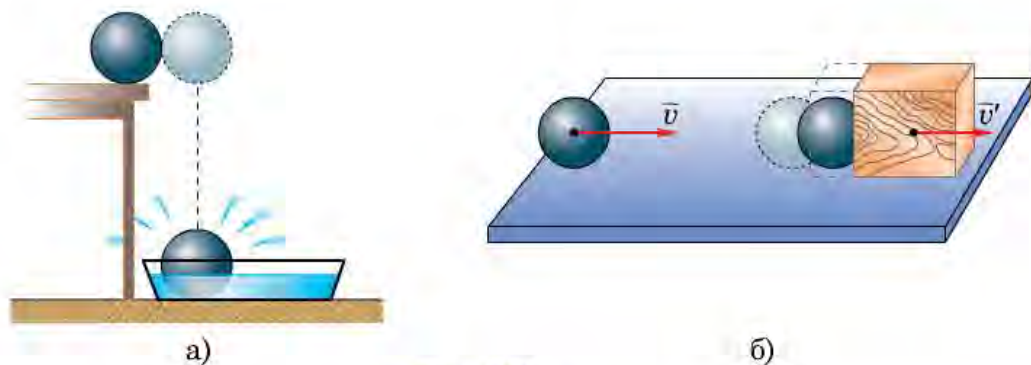


Рис. 129



**2** Будь-яка машина або механізм також не завжди виконують роботу. Щоб двигун автомобіля виконував роботу, обертаючи колеса і переміщаючи його, необхідно автомобіль заправити бензином. Бензин згорає і віддає свою енергію двигуну; автомобіль починає рухатися. Для роботи вітряного двигуна (рис. 130) потрібний вітер. Енергія вітру приведе в рух лопаті двигуна. Двигуни гідроелектростанції почнуть працювати тільки після того, як потік води з водосховища, розташованого вище рівня ріки, почне падати вниз. Падаюча вода, що має енергію, приведе в рух турбіни ГЕС. Інакше кажучи, щоб машина (механізм, двигун) виконувала роботу, вона повинна мати певну енергію.

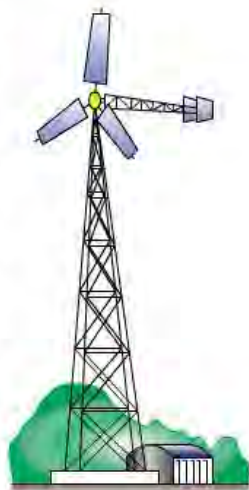


Рис. 130

**3** Енергія — це *фізична величина*. Її прийнято позначати літерою  $E$ . Енергію тіла, як і будь-яку фізичну величину, можна виміряти. Так, наприклад, тіло, підняте над землею, має певну енергію: вона дорівнює роботі, яку потрібно виконати, щоб підняти тіло на цю висоту з поверхні землі. Тіло, що рухається з певною швидкістю, також має енергію; вона дорівнює роботі, яку потрібно виконати для того, щоб цьому тілу, яке перебувало у спокої, надати цю швидкість. Енергія стиснутого в балоні газу дорівнює роботі, яку потрібно виконати, щоб накачати газ у цей балон, і т.ін.

Чим більшу роботу може виконати тіло, тим більшу енергію воно має. Таким чином, енергію виражають у тих самих одиницях, що й роботу, тобто в *джоулях*.

**4** У механіці розрізняють два види енергії — кінетичну і потенціальну.

**Енергію, яку мають тіла внаслідок свого руху, називають *кінетичною енергією* ( $E_k$ ).**

Кінетична енергія залежить від швидкості руху тіла і його маси. Дійсно, чим масивніше тіло, тим більшу роботу воно може виконати до повної зупинки. Порівняйте результати дії кулі, яка влучила в мішень, і арти-

лерійського снаряда, який рухався з тією самою швидкістю і влучив у ту саму мішень. У другому випадку буде виконана робота значно більша, ніж у першому. Очевидна також залежність кінетичної енергії тіла від його швидкості: чим більша швидкість, тим більшу роботу може виконати тіло, тобто, тим більша його енергія. Уявіть собі результат дії кулі, яку в першому випадку в мішень кинули рукою (швидкість її мала), а в другому — куля вилетіла зі ствола рушниці.

Отже, можна зробити висновок, що *чим більша маса тіла і його швидкість руху, тим більша кінетична енергія тіла.*

Кінетичну енергію тіла обчислюють за формулою:

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

**5** Енергію, яка залежить від взаємного розташування взаємодіючих тіл (або частин одного і того самого тіла), називають *потенціальною енергією* ( $E_p$ ).

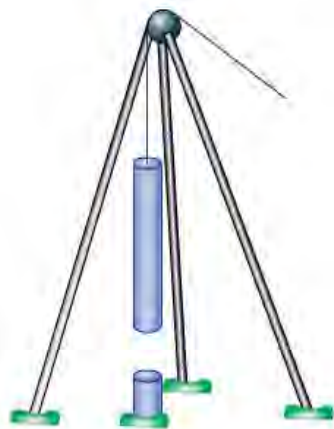


Рис. 131

Потенціальною енергією володіє, наприклад, тіло, підняте над землею. Земля і тіло взаємно притягуються. Падаючи з певної висоти на землю, тіло виконує роботу. Так, ударник копра при падінні забиває палю у ґрунт (рис. 131). Говорять, що при цьому виконується робота проти сил опору ґрунту (точніше — виконує роботу сила, з якою ударник діє на палю). Піднятий угору ударник копра знову запасе потенціальну енергію. Потенціальна енергія залежить від маси тіла і висоти, на яку воно було підняте.

Щоб забити палю, маса ударника копра повинна бути достатньо великою. Якщо з такої самої висоти, на якій знаходиться ударник, упаде легке тіло, наприклад, м'яч, то робота м'яча буде настільки мізерною, що паля не зрушиться з місця. Інакше кажучи, потенціальна енергія м'яча набагато менша від потенціальної енергії ударника копра.



Робота, яку може виконати тіло, підняте на деяку висоту, прямо пропорційна цій висоті. Потенціальна енергія падаючої води, а, отже, і потужність гідроелектростанції залежить від висоти греблі. Саме тому ріки, що протікають на рівнинній місцевості, менш придатні для спорудження ГЕС, ніж ріки у гірських районах.

Тобто, можна зробити висновок, що чим більша висота, на яку підняте тіло, і чим більша його маса, тим більша потенціальна енергія цього тіла.

Потенціальну енергію тіла, піднятого над землею, обчислюють за формулою:

$$E_{\text{п}} = mgh.$$

Потенціальною енергією володіє також і будь-яке деформоване тіло. Так, розтягнута дверна пружина, стискаючись, приводить у рух двері (рис. 132, а). Пружина виконує роботу — повертає двері назад. Розтягнута тятвита лука (рис. 132, б) виконує роботу — надає швидкості стрілі. У пневматичній рушниці (рис. 132, в) потенціальною енергією володіє стиснуте повітря, яке може виконувати роботу з виштовхування кулі зі ствола і надавати їй швидкості.



а)



б)



в)

Рис. 132



**6** Як кінетична, так і потенціальна енергії є величинами *відносними*. Їхні значення істотно залежать від вибору тіл відліку, відносно яких визначається енергія.

Наприклад, кінетична енергія тіла, яке лежить на столі вагона рухомого поїзда, дорівнює нулю відносно стола або вагона, тобто відносно системи відліку, пов'язаної з вагоном. Відносно платформи тіло рухається разом з вагоном, а, отже, має певну кінетичну енергію. Інакше кажучи, тіло відносно системи відліку, пов'язаної з пероном, має деяку кінетичну енергію, відмінну від нуля.

Потенціальна енергія тіла, яке лежить на столі, дорівнює нулю, якщо розглядати його положення відносно поверхні стола. Якщо ж за нульовий рівень обрати рівень підлоги вагона, то тіло буде перебувати на певній висоті відносно цієї підлоги і, отже, матиме певний запас потенціальної енергії, що не дорівнює нулю.

Кінетична і потенціальна енергія — це два види **механічної енергії**.



### Запитання для самоперевірки

1. Про які тіла говорять, що вони володіють енергією?
2. Назвіть одиницю енергії. Поясніть, чому одиниці роботи й енергії однакові.
3. Наведіть приклад, який би свідчив, що тіло, підняте над поверхнею землі, має певну потенціальну енергію.
4. Які існують види механічної енергії?
5. Наведіть приклади тіл, що мають потенціальну енергію; кінетичну енергію.
6. Чи залежить величина кінетичної і потенціальної енергій від вибору системи відліку? Наведіть приклади.



### Завдання 33

1. Яку енергію має куля, що летить? (Не поспішайте з відповіддю!)
2. Чи володіє енергією Місяць? Якщо так, то якими видами енергії?

3. Один учень стверджує, що потенціальна енергія книги, яка лежить на столі, дорівнює нулю, а інший — що книга володіє певною потенціальною енергією, не рівною нулю. Хто з них правий? Чому?
4. Обчисліть кінетичну енергію автомобіля з масою 1 т, який рухається зі швидкістю 72 км/год.
5. Камінь з масою 20 кг перебуває на схилі гори на висоті 100 м відносно поверхні Землі. Обчисліть потенціальну енергію каменя відносно поверхні Землі.
6. Швидкість літака зросла вдвічі. У скільки разів збільшилася його кінетична енергія?
7. Вертоліт підняв вантаж з масою 1 т на висоту 1 км над поверхнею Землі. Визначіть, яку потенціальну енергію набув вантаж відносно Землі і відносно дна шахти завглибшки 200 м.

## §44. Закон збереження енергії в механіці

- ✓ Яку енергію називають потенціальною?
- ✓ Від яких фізичних величин вона залежить?
- ✓ Яку енергію називають кінетичною?
- ✓ Від яких фізичних величин вона залежить?

**1** У цьому параграфі ви познайомитесь з одним із найважливіших законів природи — законом збереження енергії. Цей закон має застосування не тільки у фізиці. Він використовується в астрономії для розрахунку руху планет, зір, комет, у космонавтиці — для розрахунку руху космічних кораблів та супутників, у техніці — для розрахунку руху та роботи різних машин і механізмів, а також в хімії, біології тощо.

**2** Перш ніж сформулювати закон збереження енергії в механіці, розглянемо декілька простих прикладів.

Скористаємося установкою, яка складається з кулі, закріпленої між двома пружинами (рис. 133).

Якщо відвести кулю вбік — положення  $A$  — і відпустити, то вона почне рухатися завдяки дії сил пружності пружин. Пройшовши початкове положення рівноваги  $O$ , куля продовжить рух у бік, протилежний початковому відхиленню. Після того, як куля досягне положення  $B$ , її рух не



припиниться. Вона продовжить його, повертаючись до початкового положення  $O$  і далі до положення  $A$ . Якби не діяла сила тертя в системі куля–пружина, то коливання кульки тривали б нескінченно довго.

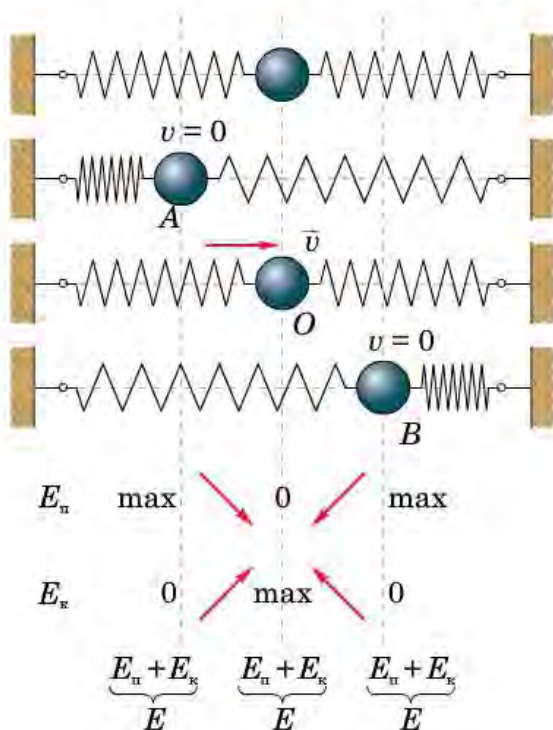


Рис. 133

**3** Що ж при цьому відбувається з енергією кулі і пружин? Як вона змінюється?

У положенні  $A$  за найбільшого відхилення від положення рівноваги деформовані пружини володіють максимальною потенціальною енергією  $E_{\text{п}} = \text{max}$ . Потім ця енергія перетворюється у кінетичну енергію кулі, і вона рухається, збільшуючи свою швидкість. Потенціальна енергія пружин зменшується, а кінетична енергія кулі буде збільшуватися і досягне найбільшого значення  $E_{\text{к}} = \text{max}$ , у момент проходження положення  $O$ . У цьому положенні деформація пружин відсутня і, отже, їхня потенціальна енергія дорівнює нулю,  $E_{\text{п}} = 0$ .



Під час руху кулі від положення  $O$  до положення  $B$  її швидкість зменшується, тому зменшується і її кінетична енергія. У момент найбільшого відхилення кулі її кінетична енергія рівна нулю:  $E_k = 0$ . Деформація ж пружин збільшується і досягає максимального значення у положенні  $B$ . Тобто, їхня потенціальна енергія зростає до  $E_{\pi} = \max$ .

Таким чином, під час коливань кулі відбуваються перетворення потенціальної енергії деформованих пружин у кінетичну енергію кулі і навпаки. Але головним є те, що сума кінетичної і потенціальної енергій залишається величиною сталою, тобто постійною залишається **повна механічна енергія тіл  $E$** :

$$E = E_{\pi} + E_k = \text{const.}$$

На рис. 133 також схематично зображені зміни кінетичної і потенціальної енергій кулі та пружин (збільшенню відповідає стрілка  $\nearrow$ , зменшенню —  $\searrow$ ) і записаний закон збереження енергії для трьох фіксованих положень  $O, A, B$ .

**4** Взаємні перетворення потенціальної і кінетичної енергій можна показати і на багатьох інших прикладах.

Піднятий на певну висоту пружний м'яч володіє потенціальною енергією відносно підлоги (рис. 134). Його швидкість у цей момент (у положенні  $A$ ) дорівнює нулю. В міру падіння м'яча його швидкість буде збільшуватися, а висота відносно підлоги зменшуватися. Це означає, що кінетична енергія м'яча збільшується, а потенціальна — зменшується. У момент удару об підлогу (положення  $B$ ) потенціальна енергія м'яча стане рівною нулю, а кінетична досягне свого найбільшого значення. Оскільки м'яч пружний, то після удару він відскочить від підлоги і його кінетична енергія буде перетворюватися у потенціал-

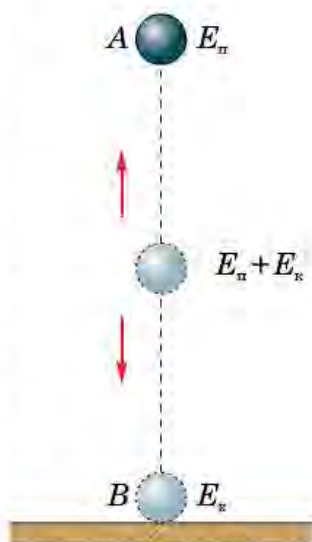


Рис. 134

льну в міру підняття. У найвищій точці підняття потенціальна енергія знову стане максимальною, а кінетична — рівною нулю.

Можна і безпосередніми розрахунками підтвердити, що повна механічна енергія м'яча залишається постійною, але в різних точках траєкторії він володіє різними за величиною видами енергії. В точці  $A$  м'яч має максимальну потенціальну енергію, у точці  $B$  — максимальну кінетичну енергію, в області між точками  $A$  і  $B$  — кінетичну і потенціальну водночас.

**5** Група тіл, які взаємодіють тільки між собою, називається *замкненою механічною системою*. До замкненої системи у розглянутих вище випадках належить куля і пружини, м'яч і Земля. Численні досліди показують, що **повна механічна енергія замкненої системи, між тілами якої діють лише сили тяжіння і пружності, зберігається**.

У цьому й полягає **закон збереження повної механічної енергії**.

**6** Реально між тілами, крім сил тяжіння і пружності, діють ще сили тертя. У цьому випадку, очевидно, повна механічна енергія не зберігається. Так, за рахунок тертя рано чи пізно м'яч (рис. 134) опиниться на підлозі у стані спокою і т.п. Але це не означає, що механічна енергія зникла безслідно, вона перетворилася в якусь іншу, немеханічну енергію.

Розглянемо ще один приклад.

Уявіть собі, що ви б'єте молотком по великому металевому бруску або по товстому цвяху. Спочатку, піднявши молоток вгору, ви надаєте йому потенціальної енергії. Потім потенціальна енергія молотка перетворюється на кінетичну енергію і в момент удару кудись зникає. Для наступного удару вам знову потрібно піднімати молоток угору. Куди ж дівається механічна енергія? Доторкніться до металевого бруска після кількох ударів по ньому, і ви відчуєте, що брусок нагрівся. Механічна енергія молотка безслідно

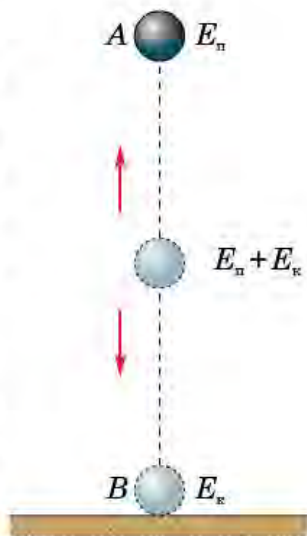


Рис. 134



зникнути не могла, вона перетворилася в якусь іншу енергію (немеханічну), за рахунок якої брусок і нагрівся. Це так звана *внутрішня енергія тіла* — енергія руху і взаємодії атомів та молекул, з яких воно складається. З цим видом енергії ви ознайомитеся пізніше, а зараз зазначимо, що повна енергія взаємодіючих тіл (і механічна, і немеханічна) все одно залишається величиною постійною.

Зауважимо, що впродовж багатьох століть не припинялися спроби створити такий пристрій, який міг би виконувати роботу без підведення до нього будь-якої енергії. Він дістав назву «вічного» двигуна (*perpetuum mobile*). Але усі проекти вічних двигунів мали спільний недолік: жоден з них не працював. Це й не дивно, адже сама ідея побудови вічного двигуна глибоко суперечить закону збереження енергії, у правильності якого немає жодних сумнівів. Французька академія наук ще в 1755 р. постановила не розглядати будь-які проекти вічних двигунів.



### Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає закон збереження повної механічної енергії?
2. Чи завжди справджується закон збереження повної механічної енергії?
3. Скориставшись рисунком 133, поясніть, які взаємні перетворення енергії відбуваються у досліді з кулькою та пружинами.



### Завдання 34

1. Поясніть, які перетворення енергії і чому відбуваються у наступних випадках:
  - а) під час руху м'яча, кинутого вгору;
  - б) під час скочування кульки з похилої площини;
  - в) при падінні води у водоспаді;
  - г) при падінні пластилінової кульки на підлогу.
2. Як був установлений закон збереження енергії в механіці? Відповідь поясніть.
3. Що переконує вас у справедливості закону збереження повної механічної енергії? Відповідь обґрунтуйте.



4. Якої висоти могла б досягти куля, яка вилетіла зі ствола рушниці вертикально вгору зі швидкістю 400 м/с, якби не існувало опору повітря?
5. Яку швидкість треба надати м'ячу, щоб підкинути його вертикально вгору на висоту 10 м? При проведенні розрахунків опором повітря знехтуйте.
6. Які перетворення енергії відбуваються під час ходу годинника?
7. Тіло підняли на висоту 10 м над землею і відпустили. Воно впало на землю зі швидкістю 12 м/с. Безпосередніми розрахунками перевірте, чи справджується у цьому досліді закон збереження механічної енергії. Поясніть одержаний результат.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте тест № 4, запропонований в електронному додатку.

## §45. Прості механізми

- ✓ Чи завжди потрібно прикладати одну і ту саму силу, щоб виконати однакову механічну роботу?

**1** Для того, щоб полегшити роботу по переміщенню важких предметів, людина конструювала різні пристрої. Найпершими такими пристроями є так звані *прості механізми*. Розглянемо їхню роботу. Уявімо, що потрібно підняти вантаж на деяку висоту  $H$  (рис. 135). Вам надають-



Рис. 135

ся можливість вибору способу підйому цього вантажу. Наприклад, можна піднятися з ним по вертикальній драбині або витягнути чи викотити його по похилій площині на ту саму висоту  $H$ . Який спосіб ви оберете? Безсумнівно, другий. Тому що витягнути або викотити важкий предмет нагору, наприклад, камінь по похилій площині значно легше, ніж підняти його вертикально.

Чи можна запропонувати ще якісь способи для полегшення роботи з піднімання каменя? Можна. Наприклад, якщо на висоті  $H$  закріпити блок, перекинути через нього мотузку і до одного з її кінців прикріпити камінь (рис. 136, а). Значно простіше тягнути за другий кінець мотузки вниз, піднімаючи вантаж, ніж піднімати його нагору самому. Якщо ж використати не один блок, а два, як показано на рис. 136, б), то зусилля, яке доведеться прикладати до мотузки, суттєво зменшиться. Чому так відбувається, ви незабаром про це дізнаєтесь.

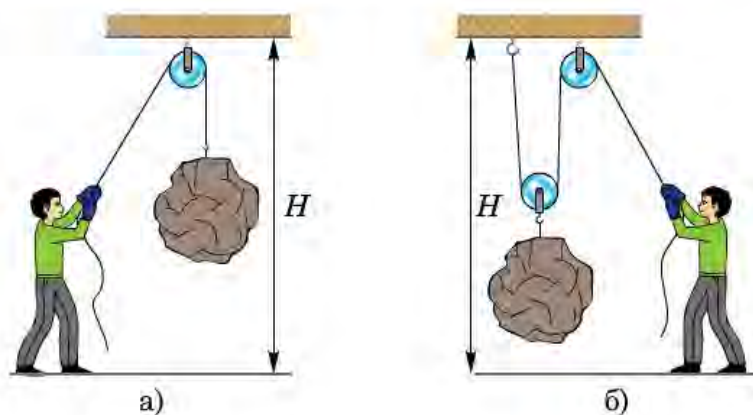


Рис. 136

**2** Отже, одну і ту саму роботу можна виконати різними способами. Використовуючи різні пристрої, люди з давніх-давен намагалися полегшити роботу, пов'язану з переміщенням і підніманням важких предметів. Ще давні єгиптяни використовували похилу площину для піднімання важких кам'яних блоків до вершини піраміди (рис. 137). Під час будівництва пірамід широко використовувався й інший пристрій — важіль для піднімання тягарів. Це була досить довга міцна палиця, до одного з кінців





Рис. 137

якої прикладалася сила, необхідна для підйому тягаря. Важіль широко застосовується також і в повсякденній практиці (рис. 138).



Рис. 138

**3** В усіх розглянутих прикладах використовувані пристрої полегшують працю. У багатьох випадках вони дають, як говорять, вигаш у силі, тобто зусилля, яке прикладає людина, виявляється меншим, ніж сила тяжіння, що діє на вантаж, який потрібно підняти або зсунути з місця. У деяких випадках, як, наприклад, у випадку, зображеному на рис. 136, а), змінюється не значення сили, а тільки її напрям. Проте піднімати вантаж вертикально вгору значно трудніше, ніж тягнути за мотузку вниз. Часто буває, що пристрій змінює і числове значення, і напрям сили (рис. 136, б).



Пристрої, які служать для перетворення сил, називають **простими механізмами**.

До них належать: *похила площина, важіль, блок, коловорот, клин і гвинт*.

У багатьох машинах і в побуті, і в сучасному виробництві знайшли використання прості механізми.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають простим механізмом?
2. Які перетворення сил відбуваються у простих механізмах?
3. Подивіться на рисунок 139 і поясніть, який простий механізм використовується при веслуванні.
4. Поясніть принцип дії щипців (рис. 140). Які перетворення сил тут відбуваються?
5. Наведіть приклади механізмів, в яких відбувається перетворення сил.

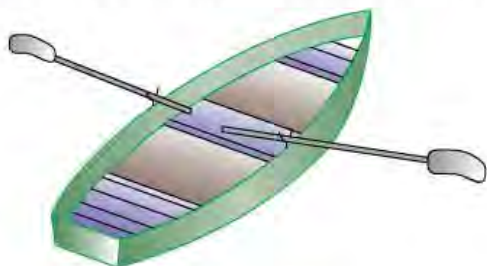


Рис. 139

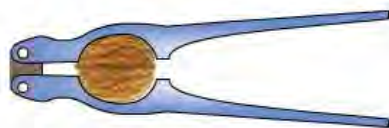


Рис. 140

## §46. Умова рівноваги важеля

- ✓ Які пристрої називають простими механізмами?
- ✓ Яка будова і принцип дії важільних ваг?

**1** Ознайомимося докладніше з одним із найпоширеніших простих механізмів — важелем. Для того, щоб довгий стержень перетворився на важіль, він повинен мати можливість обертатися навколо нерухомої опори або осі.

На рисунку 141 важелем являється лом, який може обертатися навколо осі  $O$  обертання — лінії, перпендикулярної до повздовжньої осі важеля. Якщо на довгий кінець лома подіяти силою  $\vec{F}_1$ , його короткий кінець піднімає тягар, що діє на нього з силою  $\vec{F}_2$ . Точки прикладання цих сил знаходяться на протилежних відносно точки  $O$  боках важеля.

Точка прикладання сили — це точка, в якій на важіль діє інше тіло.

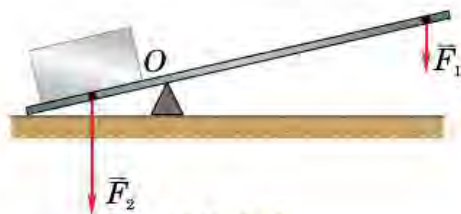


Рис. 141

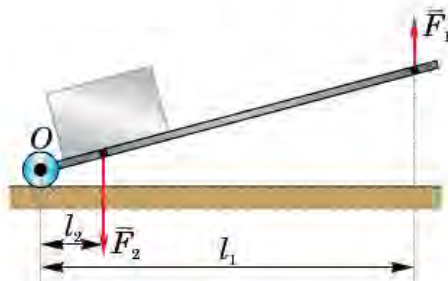


Рис. 142

На рисунку 142 показано, як принцип дії важеля використовується в роботі візка (див. рис. 138, б). Людина діє з силою  $\vec{F}_1$ , піднімаючи візок і вантаж, що знаходиться в ньому. Нерухома точка опори важеля — точка  $O$  і вісь його обертання — горизонтальна лінія, що проходить через цю точку перпендикулярно до важеля, у цьому випадку знаходяться не між прикладеними силами, а на кінці важеля.

В обох випадках використання важеля дає вигреш у силі. Чи можна підрахувати цей вигреш? Чи існує якась закономірність, що дає змогу розрахувати величину сили, яку потрібно прикласти, щоб підняти вантаж за допомогою важеля? Чи можна визначити місце прикладання сили, наприклад, м'язового зусилля, потрібного для піднімання вантажу?

**2** Щоб відповісти на ці запитання, проробимо дослід. До важеля, який може обертатися навколо осі  $O$ , підвісимо тягарі з різною масою (рис. 143). Тягарі розміщуються по різні боки від осі  $O$  і діють на важіль з силами  $\vec{F}_1$  та  $\vec{F}_2$ , напрямленими вертикально вниз. Важіль і діючі на



нього сили схематично показані на рисунку 144. Зафіксуємо положення більшого тягара в точці  $A$ . Залежно від місця закріплення меншого тягара важіль може розпочати обертання за годинниковою стрілкою або проти її ходу. І лиш тільки цей тягар буде закріплено у точці  $B$ , важіль перебуватиме у рівновазі.

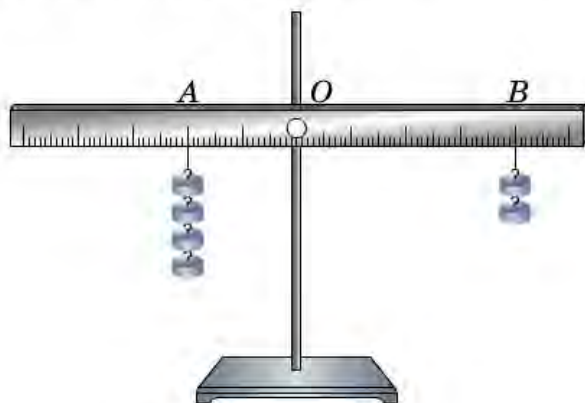


Рис. 143

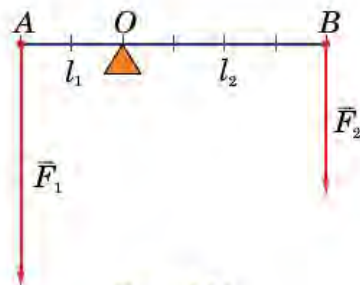


Рис. 144

Отже, за заданих значеннях сил  $F_1$  і  $F_2$  співвідношення відстаней від осі обертання до точок прикладання цих сил ( $OA$  і  $OB$ ) будуть строго визначеними. Оскільки у цьому досліді сили  $\vec{F}_1$  та  $\vec{F}_2$  — це ваги тягарів, і вони відповідно рівні силам тяжіння, що діють на тягари з масами 400 г і 200 г (4 і 2 гирі з масами по 100 г кожна), то сила  $\vec{F}_1$  удвічі більша за силу  $\vec{F}_2$ . Як показують вимірювання, відстань  $OA$  виявляється вдвічі меншою від відстані  $OB$ .

Змінимо умови досліді і прикріпимо в точці  $A$  тягар, у 3 рази *більший*, ніж тягар у точці  $B$ . Виявиться, що для приведення важеля в рівновагу менший тягар доведеться змістити на відстань у 3 рази більшу, ніж відстань  $OA$ . Щоб описати помічену закономірність, доведеться ввести поняття *плеча сили*.

**3** Плече сили — це найкоротша відстань від осі обертання тіла до лінії дії сили.



Щоб знайти плече сили, треба опустити перпендикуляр з точки опори на лінію, вздовж якої діє сила.

На рисунках 142 і 144 плечем сили  $\overrightarrow{F_1}$  є відстань  $l_1$  (OA) — перпендикуляр, опущений з точки O на пряму, вздовж якої діє сила  $\overrightarrow{F_1}$ . Відповідно плечем сили  $\overrightarrow{F_2}$  є відстань  $l_2$  (OB).

**4** На основі подібних дослідів більше двох тисяч років тому давньо-грецьким ученим Архімедом було встановлене правило: **важіль перебуває у рівновазі, якщо сили, що діють на нього, обернено пропорційні плечам цих сил.**

Це правило (умова) рівноваги важеля можна записати у вигляді формули:

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

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

Знаючи правило рівноваги важеля, можна зрозуміти, як за допомогою важеля можна одержати вигравш у силі. Якщо до кінця довшої частини важеля прикласти певну невелику силу, то нею можна зрівноважити значно більшу силу, прикладену до коротшої його частини.

Добуток сили на її плече називають **моментом сили**. Одиниця моменту сили — ньютон-метр (**1 Н · м**). Увівши момент сили і прийнявши до уваги останню формулу, можна дещо інакше сформулювати правило рівноваги важеля: *важіль перебуває у рівновазі, якщо момент сили, що обертає його за годинниковою стрілкою, дорівнює моменту сили, що обертає важіль проти годинникової стрілки.*

**5** Як можна пояснити вигравш у силі у прикладі з візком (див. рис. 142), використавши правило рівноваги важеля?

Сили  $\overrightarrow{F_1}$  і  $\overrightarrow{F_2}$ , які діють на візок, паралельні одна одній і напрямлені у протилежні боки. Сила  $\overrightarrow{F_2}$  прагне обертати важіль відносно осі O за годинниковою стрілкою, а сила  $\overrightarrow{F_1}$  — проти її ходу.

Плечі сил  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$  відповідно дорівнюють  $l_1$  і  $l_2$ . Згідно з правилом рівноваги важеля плече завдовжки  $l_2$  набагато менше від плеча  $l_1$ . Отже, щоб зрівноважити важіль, сила  $F_1$  може бути значно меншою за силу  $F_2$ . Так що вигравш у силі очевидний.

**6** У багатьох машинах і механізмах, які знайшли широке використання у техніці й побуті, застосовуються важелі. Ви уже знайомі з будовою і принципом дії важільних ваг. Вони саме так і називаються — «важільні ваги», тому що їхній основний елемент — важіль.

Розглянемо уважніше звичайні ножиці (рис. 145). Вони являють собою пару важелів, скріплених у точці  $O$ . Відносно осі, що проходить через цю точку, вони можуть обертатися. Будемо вважати, що важіль  $CD$  залишається у спокої, а до кінця важеля  $AB$  прикладається сила  $\vec{F}_1$  — сила з боку пальців людини, що працює з ножицями. Сила  $\vec{F}_2$ ,

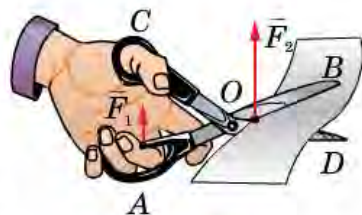


Рис. 145

яка діє з боку аркуша паперу на важіль, виявиться набагато більшою, ніж прикладена сила  $\vec{F}_1$ . На тому самому принципі заснована робота й інших інструментів: щипців, плоскогубців, садового секатора тощо.

Важіль часто зустрічається в живій і неживій природі. Пояснюючи, наприклад, причину падіння дерев під час бурі, доведеться згадати про правило рівноваги важеля. Сила опору ґрунту ( $\vec{F}_2$ ), яка діє на корені дерева (рис. 146), у деякий момент може виявитися недостатньою для того, щоб утримати дерево в рівновазі, і воно впаде під напором пориву вітру (сила  $\vec{F}_1$ ).

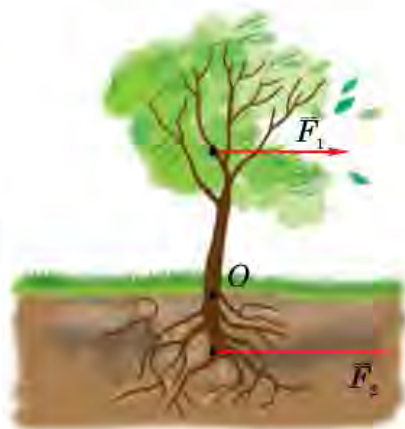


Рис. 146

В організмах людей і тварин, у тілах птахів і комах багато важелів. Тільки у ва-



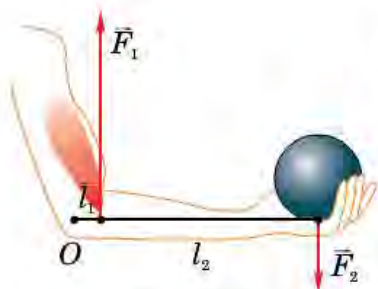


Рис. 147

шому тілі більше 200 різних кісткових важелів. Досить цікавий висновок можна зробити, розглянувши дію важеля у ліктьовому суглобі людини (рис. 147). У цьому важелі точка опори ( $O$ ) знаходиться всередині суглоба. Вага тягара  $\vec{F}_2$  прикладена до кінця важеля, а сила  $\vec{F}_1$  виникає внаслідок скорочення м'язів руки людини. Згідно з правилом рівноваги важеля сила  $\vec{F}_1$

повинна набагато перевищувати силу  $\vec{F}_2$ , оскільки плече  $l_1$  набагато менше від плеча  $l_2$ . Тут важіль дає програш у силі, але виграш у відстані. Виявляється, сила м'язів руки людини значно більша за вагу тягара, який вона піднімає.



### Запитання для самоперевірки

1. У чому полягає правило рівноваги важеля?
2. Що називають плечем сили?
3. Що таке момент сили? В яких одиницях він вимірюється?
4. Наведіть різні формулювання правила рівноваги важеля.
5. Поясніть дію важеля на якому-небудь прикладі.
6. Чи можна правило рівноваги важеля назвати законом? Відповідь обґрунтуйте.



### Завдання 35

1. Поясніть, чому дверну ручку прикріплюють біля краю дверей, а, наприклад, не посередині.
2. На рисунку 148 зображені кусачки, залізничний шлагбаум, гальмівна педаль автомобіля і підйомний кран. Укажіть точки опори і плечі сил у цих важелів. В яких випадках ці механізми використовуються для отримання виграшу в силі, а в яких — для виграшу у відстані?



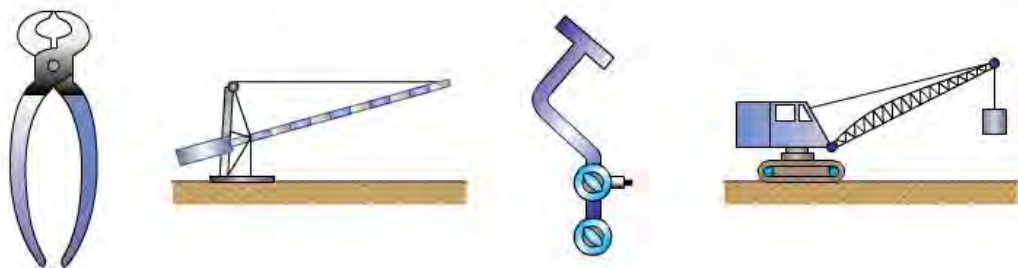


Рис. 148

3. З якою масою тягар треба підвісити до короткого плеча важеля у точці  $A$  (рис. 149), якщо до довгого плеча у точці  $B$  прикріплені два тягарі, які діють на важіль із силами  $1\text{ Н}$  кожний?

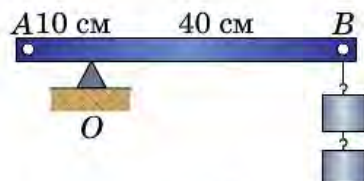


Рис. 149

4. Поясніть принцип дії автонапувалки, зображеної на рисунку 150, де 1 — чашка автонапувалки, 2 — педаль, 3 — труба, що підводить воду з водогону, 4 — клапан, 5 — пружина.

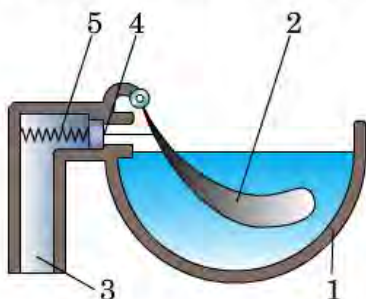


Рис. 150

5. Сила, з якою рука людини стискає щипці, дорівнює  $120\text{ Н}$ . Відстань від точки опори до стискуваного щипцями цвяха  $1,5\text{ см}$ , а від точки опори до точки прикладання сили  $15\text{ см}$ . З якою силою діють щипці на цвях?
- 6\*. До балки, яка лежить на двох опорах  $A$  та  $B$  (рис. 151) підвішений вантаж із масою  $500\text{ кг}$ . Відстань від точки підвісу вантажу до одного з кінців балки в 4 рази більша, ніж до другого. З якою силою тисне балка на кожну опору?

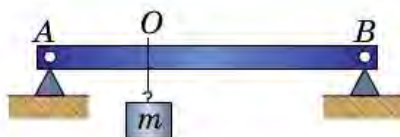


Рис. 151

- 7\*. До кінців легкого стержня завдовжки  $1\text{ м}$  підвішені дві кулі з масами  $50\text{ г}$  і  $200\text{ г}$ . На якій відстані від кулі з більшою масою треба підперти стержень, щоб він перебував у рівновазі?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріали уроку і виконайте завдання, запропоновані в електронному додатку.



## Лабораторна робота № 11

### Вивчення умови рівноваги важеля

**Мета роботи.** 1. Навчитися визначати момент сили. 2. Перевірити на досліді правило рівноваги важеля.

**Обладнання.** 1. Шкільний лабораторний важіль. 2. Штатив. 3. Набір важків масою по 100 г. 4. Динамометр. 5. Лінійка (мірна стрічка).



### *Хід роботи*

1. Удома заздалегідь повторіть §46 підручника.
2. Закріпіть важіль у штативі і зрівноважте його в горизонтальному положенні, обертаючи гайки на кінцях важеля.
3. У першому досліді зліва на відстані 20 см від осі обертання важеля закріпіть один важок із масою  $m_1 = 100$  г. При цьому на важіль з боку важка дія-



тиме сила  $F_1$ , що є вагою важка, причому  $F_1 = P_1 = m_1 g$ . Дані цього вимірювання і наступні заносьте у звітну таблицю.

4. Справа до важеля прикріпіть два таких самих важки і, пересуваючи підвіс уздовж важеля, досягніть такого положення рівноваги, щоб важіль перебував у горизонтальному положенні. Сила  $F_2 = P_2 = m_2 g$ , де  $m_2 = 200$  г. Виміряйте плечі сил  $l_1$  і  $l_2$ .

5. У другому досліді перемістіть важок зліва ближче до осі обертання або далі від неї і знайдіть положення важків на правій частині важеля, при якому він перебуватиме у горизонтальному положенні рівноваги. Виміряйте плечі сил.

6. У третьому досліді до лівого плеча важеля на відстані 10–20 см від осі обертання підвісьте три важки з масою по 100 г, а до правого — у довільній точці прикріпіть динамометр. Розтягаючи пружину динамометра вертикально вниз, досягніть горизонтального положення рівноваги важеля. Зніміть показ динамометра і виміряйте плечі сил.

7\*. *Додаткове завдання.* Перевірте правило рівноваги важеля для випадку, коли обидві сили діють на важіль з одного боку по відношенню до осі його обертання. Використовуйте важки і динамометр. Виміряйте плечі сил і обчисліть їхні моменти. Зробіть відповідний висновок.

8. Результати вимірювань занесіть у таблицю і проведіть відповідні розрахунки.

№ досліду	Ліва частина важеля			Права частина важеля			Відношення сил $\frac{F_1}{F_2}$	Відношення плечей $\frac{l_2}{l_1}$
	Маса важка $m_1$ , кг	Сила $F_1 = m_1 g$ , Н	Плече сили $l_1$ , м	Момент сили $M_1 = F_1 l_1$ , Нм	Маса важків $m_2$ , кг	Сила $F_2 = m_2 g$ , Н (або показ динамометра)		
1.								
2.								
3.					—			
4*.					—			



## §47. Застосування правила рівноваги важеля до блока. «Золоте правило» механіки

- ✓ Наведіть приклади простих механізмів.
- ✓ Пригадайте правило рівноваги важеля.

**1** На основі правила рівноваги важеля пояснимо дію ще одного простого механізму — **блока**. Блок являє собою колесо з жолобом, яке може обертатися навколо осі  $O$  (рис. 152). По жолобу пропускають трос або мотузку. Якщо вісь блока закріплена, то **блок** називають **нерухомим**, оскільки його вісь не рухається — не піднімається і не опускається (рис. 152).

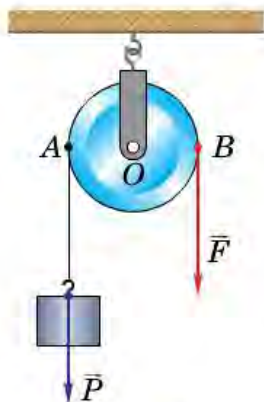


Рис. 152

Нерухомий блок можна розглядати як важіль, плечі якого рівні:  $OA = OB$ . Згідно з правилом рівноваги важеля, сили, прикладені до блока, також рівні:  $F = P$ . Тому такий механізм не дає виграшу в силі. Він використовується для зручності, оскільки простіше вибрати трос, тягнучи його вниз, аніж піднімати вантаж угору.

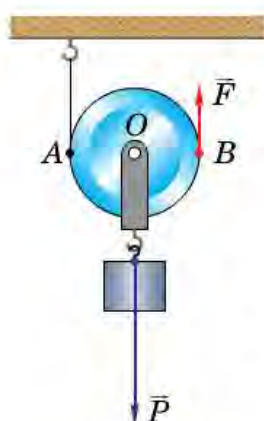


Рис. 153

**2** Щоб отримати виграш у силі, використовують **рухомий блок** (рис. 153). Вісь рухомого блока піднімається або опускається разом з вантажем.

Рухомий блок можна також уявити у вигляді важеля, до якого прикладені дві сили —  $\vec{P}$  і  $\vec{F}$ .  $\vec{P}$  — вага вантажу, яка дорівнює силі тяжіння, що діє на нього (на рисунку не показана), і  $\vec{F}$  — сила пружності, яка виникає у тросі. Віссю, відносно якої буде обертатися важіль, є горизонтальна вісь, що проходить через точку  $A$ . Плечі цих сил відповідно рівні  $AO$  і  $AB$ . Оскільки

плече  $AO$  вдвічі менше від плеча  $AB$ , то сила  $P$  вдвічі більша за силу  $F$ .  
**Рухомий блок дає виграш у силі у 2 рази:**

$$F = \frac{P}{2}.$$

**3** Якщо виміряти висоту  $h_1$ , на яку буде піднятий вантаж за допомогою рухомого блока впродовж деякого часу, і висоту  $h_2$ , на яку при цьому переміститься кінець мотузки (точка  $B$ ), то можна виявити, що  $h_2$  у 2 рази більше за  $h_1$ . Інакше кажучи, *рухомий блок дає виграш у силі вдвічі, але програш у переміщенні у стільки ж разів.*

Робота, виконана силою  $\vec{F}$ , дорівнює:  $A_2 = Fh_2$ ; робота сили  $\vec{P}$ :  $A_1 = Ph_1$ . Але виграш у силі вдвічі і програш у переміщенні вдвічі призводять до того, що роботи обох сил однакові:

$$Fh_2 = Ph_1, A_1 = A_2.$$

**4** Чи стосується одержаний результат тільки рухомого блока, чи не можна отримати виграшу в роботі за допомогою будь-якого простого механізму?

Ми з'ясували, що *нерухомий блок не дає виграшу в роботі.*

Оскільки блоки — рухомий і нерухомий — різновиди важеля, то для будь-якого важеля висновок про відсутність виграшу в роботі також повинен справджуватися. Піднімаючи ломом важкий предмет, отримують виграш у силі, але переміщення довгого кінця лома значно більше, ніж переміщення предмета. При цьому, вигравши в силі, ми обов'язково у стільки ж разів програємо в переміщенні.

Використовуються різні механізми для полегшення роботи людини: в одних випадках доцільно отримати виграш у силі, а в інших — у переміщенні. Іноді зручно змінити напрям руху за допомогою нерухомого блока. Зрештою прості механізми дають можливість перетворювати прямолінійний рух в обертальний, і навпаки, як, наприклад, у підйомних ліфтах, лебідках, годинниках з гирями і т.ін.

Для всіх випадків використання простих механізмів установлене правило: **у скільки разів отримуємо виграш у силі, у стільки разів про-**



граємо у відстані. Це правило було відкрито ще в давнину і назване «золотим правилом» механіки. Його сутність можна виразити й інакше: жоден із простих механізмів не дає виграшу в роботі.

### 5 Приклад розв'язування задачі.

Вантаж з масою 60 кг рівномірно піднімають за допомогою системи блоків (рис. 154). Яку силу треба прикласти до вільного кінця каната? На яку висоту підняли вантаж, якщо вільний кінець каната опустився на 3 м? Яка робота при цьому була виконана?

Дано:

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$h = 3 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$F = ?$$

$$H = ?$$

$$A = ?$$

Розв'язання.

Вантаж підвішений до рухомого блока і діє на нього з силою  $P$ , яка дорівнює силі тяжіння, що діє на вантаж:

$$P = F_{\text{тяж}} = mg.$$

Рухомий блок дає виграш у силі в 2 рази, а нерухомий блок не змінює величини прикладеної сили. Отже,

$$F = \frac{P}{2}.$$

Програш у шляху для рухомого блока означає, що

$$H = \frac{h}{2}.$$

Робота, виконана силою  $F$ , рівна

$$A = Fh.$$

Проведемо обчислення:

$$P = 60 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 600 \text{ Н};$$

$$F = 600 \text{ Н} \cdot \frac{1}{2} = 300 \text{ Н};$$

$$H = 3 \text{ м} \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \text{ м};$$

$$A = 300 \text{ Н} \cdot 3 \text{ м} = 900 \text{ Дж}.$$

Відповідь.  $F = 300 \text{ Н}$ ;  $H = 1,5 \text{ м}$ ;  $A = 900 \text{ Дж}$ .

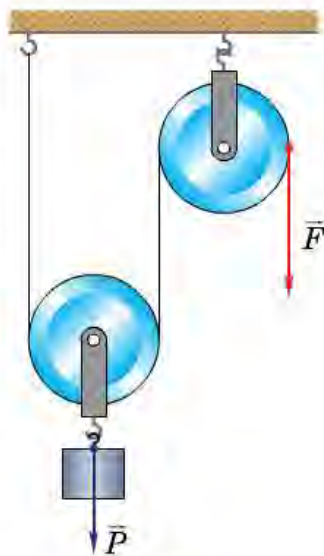


Рис. 154





## Запитання для самоперевірки

1. Що являє собою блок?
2. З якою метою використовують нерухомий блок?
3. Чим відрізняється рухомий блок від нерухомого?
4. Чому блок можна розглядати як важіль?
5. Поясніть, чому рухомий блок дає вигоду у силі (або програшу у шляху) у 2 рази.
6. У чому полягає «золоте правило» механіки? Наведіть приклади, які підтверджують це правило.
7. Якою рукою — зігнутою в лікті чи витягнутою — людина може підняти більший вантаж? Чому?



## Завдання 36

1. Чи може людина з масою 60 кг підняти за допомогою нерухомого блока вантаж вагою 650 Н? Відповідь поясніть.
2. У системі блоків до мотузки прикладена сила 400 Н (див. рис. 154). Яка сила діє на гак, до якого прив'язаний кінець мотузки з вантажем? Яка сила діє на вісь нерухомого блока?
3. Визначте масу вантажу, який можна підняти за допомогою рухомого блока, якщо до вільного кінця мотузки прикладається сила 100 Н. Маса самого блока 500 г.
- 4\*. За допомогою системи блоків піднімають вантаж (рис. 155). Який вигоду у силі дає така система? З якою силою треба тягнути за вільний кінець мотузки, якщо маса вантажу  $m = 150$  кг?
5. Як можна з'єднати між собою рухомі і нерухомі блоки, щоб отримати вигоду в силі у 4 рази; у 6 разів?

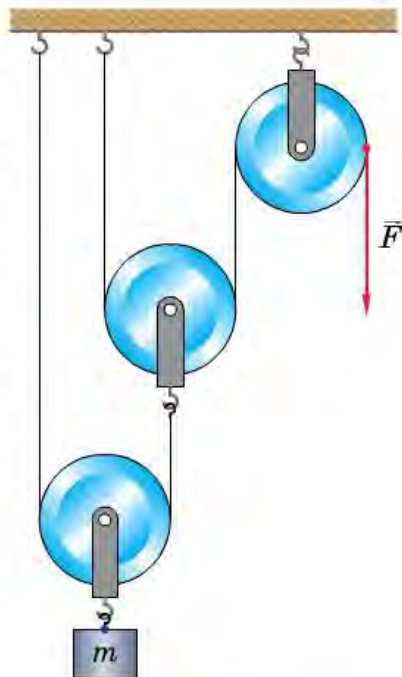


Рис. 155

6. Піднявши тягар важелем, виконали роботу 180 Дж. На скільки довелося при цьому опустити інший кінець важеля, якщо діюча на нього сила становить 80 Н?

## §48. Коефіцієнт корисної дії простих механізмів

✓ Яку фізичну величину називають механічною роботою?

**1** При розрахунку роботи, виконаної за допомогою простого механізму, ми цікавилися тільки силою і здійсненням під дією сили переміщенням тіла. Знайдена таким способом робота отримується тільки в ідеальних умовах; її зазвичай називають корисною роботою.

На практиці реальна робота завжди більша від корисної. Так, використовуючи лом або візок для підйому і переміщення важкого предмета, наприклад, каменя, доводиться затрачати певне зусилля на підйом самого лома або переміщення візка і, отже, виконувати додаткову роботу. Використовуючи блок, необхідно виконати роботу з подолання сил тертя між блоком і мотузкою, піднімання мотузки, а в рухомому блоці — і самого блока.

**2** Корисна робота будь-якого реального механізму завжди менша від його повної (або затраченої) роботи. Позначивши корисну роботу  $A_k$ , а повну  $A_{\text{п}}$ , можна записати

$$A_k < A_{\text{п}}.$$

Чим менша різниця між повною і корисною роботами механізму, тим менші у нього втрати енергії, тим ефективніше він працює. Для характеристики ефективності механізму користуються поняттям *коефіцієнта корисної дії механізму (ККД)*. ККД позначають літерою  $\eta$  (грецька літера «ета»).

Відношення корисної роботи до повної роботи називають коефіцієнтом корисної дії механізму:

$$\eta = \frac{A_k}{A_{\text{п}}}.$$



ККД показує, яку частину від усієї виконаної (повної) роботи становить корисна робота. Зазвичай ККД виражають у процентах:

$$\eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{п}}} \cdot 100\%.$$

Нехай за допомогою важеля ви підняли вантаж масою  $m$  на висоту  $h$ . Тоді корисна робота  $A = mgh$ . Виконуючи цю роботу, ви виконали також і роботу з подолання сили тертя  $|A_{\text{тер}}|$ . Робота сили тертя ковзання завжди від'ємна, а робота сили з подолання сили тертя додатна. Тоді повна робота  $A_{\text{п}} = mgh + |A_{\text{тер}}|$ . Як бачимо,  $A_{\text{п}} > A_{\text{к}}$ , і тому ККД реального механізму завжди менший від 100 %.

### 3 Приклад розв'язання задачі.

Залізобетонну плиту масою 400 кг піднімають за допомогою важеля на висоту 10 см. До довгого кінця важеля прикладають силу 1500 Н. При цьому точка прикладання сили переміщується на 40 см. Знайдіть ККД важеля.

Дано:	СИ
$m = 400 \text{ кг}$	
$h = 10 \text{ см}$	0,1 м
$F = 1500 \text{ Н}$	
$H = 40 \text{ см}$	0,4 м
$g = 10 \text{ м/с}^2$	
$\eta = ?$	

Розв'язання.

$$\eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{п}}} \cdot 100\%.$$

Корисна робота

$$A_{\text{к}} = Ph,$$

де  $P$  — вага плити:  $P = F_{\text{тяж}} = mg$ .

Повна робота  $A_{\text{п}} = FH$ . Отже,

$$\eta = \frac{mgh}{FH} \cdot 100\%;$$

$$\eta = \frac{400 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,1 \text{ м}}{1500 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м}} \cdot 100\% \approx 67\%.$$

Відповідь.  $\eta \approx 67\%$ .





## Запитання для самоперевірки

1. Яку роботу називають корисною?
2. У чому полягає відмінність корисної роботи від повної?
3. Що таке ККД механізму?
4. Чи може ККД механізму дорівнювати або перевищувати 100 %? Відповідь поясніть.
5. Чому затрачена (повна) робота завжди більша за корисну?



## Завдання 37

1. Із шахти завглибшки 150 м піднімають на канаті вантаж із масою 500 кг. Маса кожного погонного метра каната становить 1 кг. Визначте ККД установки.
2. Для рівномірного піднімання по похилій площині вантажу із масою 200 кг була прикладена сила 250 Н. Висота похилої площини 1,5 м, довжина 15 м. Визначте ККД цієї похилої площини.
- 3\*. Вантаж масою 80 кг піднімають за допомогою важеля з відношенням плечей 3 : 7. До довшого плеча прикладають силу 0,5 кН. Визначте ККД важеля.
4. Яким повинно бути відношення висоти похилої площини до її довжини, щоб сила тяги дорівнювала половині ваги вантажу, який піднімають за допомогою цієї похилої площини? ККД похилої площини становить 90 %.
- 5\*. По похилому помосту завдовжки 6 м і заввишки 2 м перетягнули ящик із масою 40 кг. Сила тертя ящика об поміст складає 25 Н. Обчисліть повну і корисну роботи, виконані при цьому, та ККД помосту.
6. Визначте корисну роботу, виконану під час підйому вантажу на висоту  $h$  (рис. 156). Яку повну роботу довелося виконати при цьому? Обчисліть ККД установки.

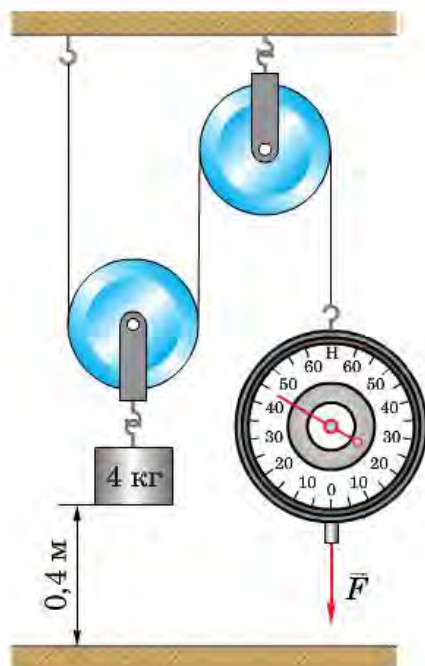


Рис. 156



## Лабораторна робота № 12

### Визначення ККД похилої площини

**Мета роботи.** 1. Закріпити навички вимірювання сил динамометром. 2. Навчитися експериментально визначати роботу. 3. Визначити ККД похилої площини.

**Обладнання.** 1. Гладенька дошка завдовжки 1–0,5 м або трибометр. 2. Штатив з муфтою і лапкою. 3. Динамометр. 4. Дерев'яний брусок. 5. Набір тягарців із масами по 100 г. 6. Лінійка або мірна стрічка.



### Хід роботи

1. Удома напередодні виконання роботи повторіть § 48 підручника й ознайомтеся з вказівками до лабораторної роботи.

2. Розгляньте засоби вимірювання, що є у вас на столі, і запишіть їхні характеристики у таблицю.

Засіб вимірювання	Межа вимірювання	Ціна поділки
Лінійка		
Динамометр		



3. Закріпіть один кінець дошки у штативі так, щоб вона утворювала з горизонтом кут  $15\text{--}30^\circ$ , а її інший кінець спирався на стіл.

4. Виміряйте довжину дошки  $l$  і висоту  $h$  підйому її закріпленого кінця відносно поверхні стола (відповідно довжину та висоту похилої площини). Дані цих і подальших вимірювань занесіть у таблицю.

№ досліду	Вага бруска $P_6$ , Н	Маса важків $m_v$ , кг	Вага важків $P_v = m_v g$ , Н	Вага бруска з важками $P = P_6 + P_v$ , Н	Довжина $l$ похилої площини, м	Висота $h$ похилої площини, м	Сила $F$ тяги, Н	Корисна робота $A_k$ , Дж	Повна робота $A_n$ , Дж	ККД, %	Виграш у силі $\frac{P}{F}$
1.		0,1	1 Н								
2.	—	0,2	2 Н		—	—					
3.	—	0,3	3 Н		—	—					

5. Виміряйте динамометром вагу  $P_6$  бруска.

6. Навантажте дерев'яний брусок важком із масою 100 г, поклавши його на дошку, приєднайте до бруска динамометр і тягніть його *рівномірно* вгору похилою площиною, стежачи за показом динамометра. Цей показ (силу тяги)  $F$  занесіть у таблицю.

7. Обчисліть корисну роботу з піднімання бруска з важками вертикально вгору на висоту  $h$ :  $A_k = Ph$ .

8. Обчисліть повну роботу з піднімання бруска з важками похилою площиною (роботу сили тяги):  $A_n = Fl$ .

9. Обчисліть ККД похилої площини, виразивши його у процентах:

$$\text{ККД} = \frac{A_k}{A_n} \cdot 100\%.$$



10. Розрахуйте виграш у силі  $\frac{P}{F}$ .

11. Навантажте брусок двома, а потім трьома важками й аналогічно проведіть ще два досліди згідно з вимогами п. 6 – п. 10.

12\*. *Додаткове завдання.* Збільшіть кут нахилу похилої площини до горизонту на 20–30° і виконайте дослідження, описані у п. 6 – п. 10, навантаживши брусок важком із масою 100 г. Як і чому змінилися ККД похилої площини та виграш у силі?

Зробіть висновки.



### Навчальний проект № 3

Використовуючи теоретичні знання та набутий досвід при виконанні завдань 36–37 і лабораторної роботи №12, виконайте навчальний проект «**Становлення і розвиток знань про фізичні основи машин і механізмів**» за таким планом:

1. Фізичні основи машин і механізмів, їхні конструкції та функціонування.
2. Історія розвитку машин і механізмів.
3. Сучасний стан розвитку машин і механізмів.
4. На основі матеріалів, узятих в Інтернеті, оцініть перспективи розвитку машинобудування.

# **ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ У ФІЗИЧНОМУ КАБІНЕТІ**

1. Розпочинати роботу можна тільки з дозволу вчителя.
2. Будьте обережними при користуванні скляним посудом і приладами, не використовуйте термометр замість мішалки.
3. Заборонено працювати зі ртутними термометрами. Пам'ятайте, що пара ртуті — дуже отруйна і її тривале вдихання навіть у невеликих кількостях може спричинити тяжке захворювання. Будь-які роботи зі ртуттю у фізичному кабінеті не дозволяються.
4. Будьте обережними з вогнем. Не залишайте відкритий вогонь на робочому місці.
5. Перед користуванням вимірювальними приладами вивчіть їхні шкали і допустимі межі вимірювань. Не допускайте перевищення меж вимірювання приладів.
6. Електричне коло можна замикати лише після його перевірки вчителем або лаборантом.
7. Забороняється працювати з відкритими електричними колами, увімкненими в мережу. Напруга приладу 36 В небезпечна для життя.
8. Не дозволяється працювати з електричними приладами у вологому одязі, братися за них мокрими руками.
9. При виявленні неполадок в електричному колі потрібно негайно вимкнути живлення і повідомити про це вчителю.
10. Не працюйте з несправною й аварійною апаратурою, без дозволу вчителя не проводьте її ремонт.
11. Після закінчення роботи вимкніть у першу чергу джерело струму, розберіть електричне коло і наведіть порядок на робочому місці.

# МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ (СІ)

№	Фізична величина	Умовне позначення	Одиниця
<b>Основні</b>			
1.	Довжина	$l$	м
2.	Час	$t$	с
3.	Маса	$m$	кг
4.	Сила струму	$I$	А
<b>Похідні</b>			
5.	Площа	$S$	м <sup>2</sup>
6.	Об'єм	$V$	м <sup>3</sup>
7.	Шлях	$l$	м
8.	Переміщення	$\vec{s}$	м
9.	Швидкість	$\vec{v}$	м/с
10.	Прискорення	$\vec{a}$	м/с <sup>2</sup>
11.	Густина	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>
12.	Сила	$\vec{F}$	Н
13.	Тиск	$p$	Па
14.	Вага	$\vec{P}$	Н
15.	Робота	$A$	Дж
16.	Енергія	$E$	Дж
17.	Потужність	$N$	Вт
18.	Момент сили	$M$	Н · м



# ВІДПОВІДІ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ

- Завдання 5.** 2.  $10^{10}$ .
- Завдання 9.** 2. 1440 м.
- Завдання 10.** 1. 1 м/с. 2. 2 м.
- Завдання 11.** 1. 4 м/с; 10 м/с; 8 м/с; 8 м/с. 2. 35 м/с.
- Завдання 12.** 2. 18 м/с. 3. 2 с.
- Завдання 13.** 1. 12 разів. 2. 5 см. 3. 0,1 с; 10 1/с. 4. 0; 0; 1675 км/год; 465 м/с.
- Завдання 14.** 1. 2 с; 0,5 Гц. 2. 20 см. 3.  $\approx 1,98$  м/с.
- Завдання 15.** 3. Лівого у 2 рази.
- Завдання 16.** 2. г/см<sup>3</sup>.
- Завдання 17.** 3. 2,5 Н.
- Завдання 18.** 3. 62,5 Н/м. 4. 400 Н/м.
- Завдання 19.** 3. 250 кН.
- Завдання 20.** 2. 4,915 кН; 4,89 Н; 1,93 Н. 4. 9,99 Н.
- Завдання 21.** 2. 78,5 Н. 3. 34,9 Н. 4. 785 Н; 130 Н; 0; 80 кг.
- Завдання 22.** 4. 686,7 Н. 5. 0,51. 8. 3,2 см.
- Завдання 23.** 4. 14,7 кПа. 5. 1,47 кПа. 6. В  $1,1 \cdot 10^5$  разів. 7. 10,6 км. 8.  $10^3$  МПа.
- Завдання 25.** 4. 981 Па. 5. 0,51 МПа; 1 МН. 6. 9,8 кН; 4,9 кН. 7.  $\approx 115$  МПа.
- Завдання 26.** 2. 27,8 см. 3. Гасу в 1,25 рази.
- Завдання 27.** 8.  $\approx 16$  кПа; 10,7 кПа. 9. 240 м. 10. 148 кН. 11. 303 кПа.
- Завдання 28.** 1. 12,9 м. 3. 198 м.
- Завдання 29.** 1. 0,49 Н; 0,39 Н;  $1,27 \cdot 10^{-4}$  Н. 3. 0,2 дм<sup>3</sup>. 7.  $10^3$  м<sup>3</sup>. 9.  $\rho_t = \frac{P_1 \rho_2 - P_2 \rho_1}{P_1 - P_2}$ .
10. Ні.
- Завдання 30.** 3. 600 кг. 4. Ні. 7. 4,63 кН. 9. Ні.
- Завдання 31.** 3. 30,6 кДж. 4. 2450 МДж.
- Завдання 32.** 2. 39,2 Вт; 26,1 Вт. 4. 300 кДж; 10,2 м.
- Завдання 33.** 4. 200 кДж. 5. 19,6 кДж. 7. 9,8 МДж; 11,8 МДж.
- Завдання 34.** 4. 8,16 км. 5. 14 м /с.
- Завдання 35.** 1. 0,82 кг. 5. 1,2 кН. 6. 3,92 кН; 980 Н. 7. 20 см.
- Завдання 36.** 2. 800 Н; 800 Н. 3. 19,9 кг. 5. 4 рази; 367,5 Н. 6. 1 м.
- Завдання 37.** 1. 76,9%. 2. 78,4%. 3. 67,2%. 4. 0,45. 5. 784 Дж; 934 Дж; 83,9%.  
6. 27,44 Дж; 36 Дж; 76,2%.

# ЗМІСТ

Дорогі друзі!.....	3
--------------------	---

## Розділ I. Фізика як природнича наука.

### Методи наукового пізнання..... 4

§1. Що вивчає фізика.....	4
§2. Як вивчають явища природи.....	7
§3. Зв'язок фізики з іншими науками.....	11
§4. Фізика й оточуючий світ .....	14
§5. Видатні вчені-фізики .....	16
§6. Фізичні величини. Одиниці фізичних величин .....	19
§7. Вимірювання фізичних величин .....	21
§8. Точність вимірювань .....	25
Лабораторна робота № 1–2. Визначення ціни поділки вимірювального приладу. Вимірювання об'єму .....	29
Лабораторна робота № 3. Визначення розмірів малих тіл різними способами.....	32
§9. Зв'язок між фізичними величинами. Фізичні теорії.....	34
§10. Початкові відомості про будову речовини. Атоми й молекули.....	36
§11*. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії та їхнє дослідне обґрунтування .....	40

## Розділ II. Механічний рух..... 46

§12. Механічний рух та його види .....	46
§13. Відносність механічного руху. Тіло відліку.....	48
§14. Матеріальна точка. Система відліку.....	50
§15. Траєкторія. Шлях. Переміщення.....	52



<b>§16.</b>	Рівномірний прямолінійний рух та його швидкість .....	56
<b>§17.</b>	Рівняння руху. Графіки рівномірного прямолінійного руху .....	60
<b>§18.</b>	Нерівномірний прямолінійний рух. Середня швидкість .....	62
<b>§19*.</b>	Рівноприскорений рух. Прискорення.....	65
<b>§20.</b>	Рівномірний рух матеріальної точки по колу .....	69
	<b>Лабораторна робота № 4.</b> Визначення періоду обертання, частоти та швидкості руху по колу.....	72
<b>§21.</b>	Коливальний рух. Маятники .....	74
	<b>Лабораторна робота № 5.</b> Дослідження коливань математичного маятника .....	77
	<b>Навчальний проект № 1</b> .....	78

### **Розділ III. Взаємодія тіл. Сила..... 79**

<b>§22.</b>	Явище інерції .....	79
<b>§23.</b>	Інертність тіла. Маса .....	82
<b>§24.</b>	Вимірювання маси.....	85
	<b>Лабораторна робота № 6.</b> Вимірювання маси тіл на важільних терезах .....	88
<b>§25.</b>	Густина речовин.....	90
	<b>Лабораторна робота № 7.</b> Визначення густини речовин твердих тіл і рідин .....	94
<b>§26.</b>	Сила .....	96
<b>§27.</b>	Вимірювання сили.....	101
<b>§28.</b>	Сила пружності. Закон Гука.....	105
	<b>Лабораторна робота № 8.</b> Градування шкали динамометра і вимірювання сили.....	108
<b>§29.</b>	Додавання сил. Рівнодійна .....	110
<b>§30.</b>	Сила тяжіння .....	114
<b>§31.</b>	Вага тіла. Невагомість .....	117
<b>§32.</b>	Сила тертя .....	120
	<b>Лабораторна робота № 9.</b> Визначення коефіцієнта тертя ковзання.....	127



§33.	Тиск твердих тіл.....	129
§34.	Тиск рідин і газів. Закон Паскаля.....	134
§35.	Тиск у нерухомих рідинах і газах.....	139
§36.	Сполучені посудини.....	144
§37.	Атмосферний тиск.....	146
§38.	Манометри і насоси .....	153
§39.	Виштовхувальна сила. Закон Архімеда.....	156
§40.	Плавання суден. Повітроплавання .....	162
	<b>Лабораторна робота № 10.</b> З'ясування умов плавання тіл.....	167
	<b>Навчальний проект № 2</b> .....	169

## **Розділ IV. Механічна робота та енергія ..... 170**

§41.	Механічна робота.....	170
§42.	Потужність.....	175
§43.	Механічна енергія та її види.....	180
§44.	Закон збереження енергії в механіці .....	185
§45.	Прості механізми .....	190
§46.	Умова рівноваги важеля .....	193
	<b>Лабораторна робота № 11.</b> Вивчення умови рівноваги важеля.....	200
§47.	Застосування правила рівноваги важеля до блока. «Золоте правило» механіки.....	202
§48.	Коефіцієнт корисної дії простих механізмів.....	206
	<b>Лабораторна робота № 12.</b> Визначення ККД похилої площини.....	209
	<b>Навчальний проект № 3</b> .....	211

## **Правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт у фізичному кабінеті ..... 212**

## **Міжнародна система одиниць (СИ) ..... 213**

## **Відповіді до деяких задач ..... 214**

## **Алфавітний покажчик ..... 215**