

М. І. Шут  
М. Т. Мартинюк  
Л. Ю. Благодаренко

# ФІЗИКА

Підручник  
для  
загальноосвітніх  
навчальних закладів



УДК  
ББК  
Ш

Ш Шут М. І., Мартинюк М. Т., Благодаренко Л. Ю.  
Ш Фізика 7 кл. : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. / М. І.Шут, М. Т. Мартинюк,  
Л. Ю. Благодаренко — К. ; Ірпінь : ВТФ «Перун», 2014. — 256с. : іл.

ISBN

УДК  
ББК

© ВТФ «Перун», 2014  
© М. І. Шут, М.Т. Мартинюк,  
Л. Ю. Благодаренко, 2014

# Зміст

## Частина I

### ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

<b>Розділ 1. Фізика як наука і теоретична основа техніки .....</b>	<b>6</b>
§ 1. Фізика як фундаментальна наука про природу.....	7
§ 2. Експериментальний і теоретичний методи фізики .....	15
Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з вимірювальними приладами. Визначення ціни поділки шкали приладу .....	20
Лабораторна робота № 2. Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин і сипких матеріалів .....	23
§ 3. Речовина і поле. Будова речовини .....	25
Лабораторна робота № 3. Вимірювання розмірів малих тіл різними способами .....	33
§ 4. Фізика — наука інтернаціональна. Внесок українських учених у розвиток і становлення сучасної фізики .....	35
<b>Тестові завдання до розділу 1 .....</b>	<b>42</b>

## Частина II

### МЕХАНІЧНИЙ РУХ

<b>Розділ 2. Прямолінійний механічний рух.....</b>	<b>44</b>
§ 5. Механічний рух. Система відліку. Відносність руху .....	45
§ 6. Траєкторія. Шлях і переміщення .....	51
§ 7. Прямолінійний рівномірний рух. Швидкість.....	55
§ 8. Рівняння руху. Графіки рівномірного прямолінійного руху....	61
§ 9. Нерівномірний прямолінійний рух. Середня швидкість .....	65
§ 10. Графік швидкості рівномірного прямолінійного руху. Рівняння і графіки нерівномірного прямолінійного руху .....	70
Навчальний проект.....	75
<b>Тестові завдання і задачі до розділу 2 .....</b>	<b>76–79</b>
<b>Розділ 3. Механічні рухи складніші за прямолінійний .....</b>	<b>80</b>
§ 11. Рівномірний рух по колу. Швидкість руху.....	81

§ 12. Період обертання .....	85
Лабораторна робота № 4. Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу .....	90
§ 13. Коливальний рух. Маятники .....	92
§ 14. Амплітуда. Період і частота коливань .....	100
Лабораторна робота № 5. Дослідження коливань нитяного маятника.....	103
<b>Тестові завдання і задачі до розділу 3 .....</b>	<b>105–107</b>

### Частина III ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

<b>Розділ 4. Інерція і взаємодія тіл. Маса і сила .....</b>	<b>108</b>
§ 15. Явище інерції. Інертність тіла. Маса тіла .....	109
§ 16. Способи вимірювання мас .....	120
Лабораторна робота № 6. Вимірювання маси тіл методом зважування .....	123
§ 17. Густина речовини.....	126
§ 18. Визначення маси і об'єму тіла за його густиною.....	131
Лабораторна робота № 7. Визначення густини речовини твердого тіла.....	134
§ 19. Взаємодія тіл. Сила .....	136
<b>Тестові завдання і задачі до розділу 4 .....</b>	<b>141–143</b>
<b>Розділ 5. Види сил.....</b>	<b>144</b>
§ 20. Явище тяжіння. Сила тяжіння .....	145
§ 21. Деформація. Сила пружності. ....	148
§ 22. Закон Гука .....	152
§ 23. Динамометр .....	155
Лабораторна робота № 8. Дослідження пружних властивостей тіл .....	158
§ 24. Вага тіла. Невагомість і перевантаження.....	160
§ 25. Додавання сил. Рівнодійна сил, напрямлених уздовж однієї прямої .....	164
§ 26. Сила тертя. Тертя в природі й техніці.....	167
Лабораторна робота № 9. Визначення коефіцієнта тертя ковзання.....	173



<b>Тестові завдання і задача до розділу 5</b> .....	175–177
<b>Розділ 6. Тиск твердих тіл, рідин і газів</b> .....	178
§ 27. Тиск. Сила тиску.....	179
§ 28. Тиск у рідинах і газах. Закон Паскаля .....	182
§ 29. Гідравлічні та пневматичні пристрої.....	185
§ 30. Гідростатичний тиск.....	189
§ 31. Сполучені посудини.....	192
§ 32. Атмосферний тиск .....	195
§ 33. Барометри.....	198
§ 34. Насоси. Манометри .....	202
§ 35. Архімедова сила .....	206
Лабораторна робота № 10. З'ясування умов плавання тіла...	210
§ 36. Водний транспорт. Повітроплавання .....	212
Навчальний проект.....	216
<b>Тестові завдання і задачі до розділу 6</b> .....	217–219

## Частина IV МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

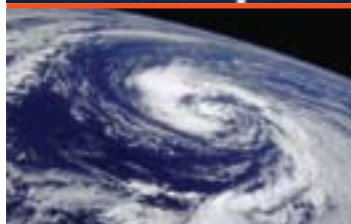
<b>Розділ 7. Робота. Енергія. Потужність</b> .....	220
§ 37. Робота сили. Механічна робота .....	221
§ 38. Потужність .....	224
§ 39. Прості механізми. Важіль .....	227
Лабораторна робота № 11. Вивчення умови рівноваги важеля .....	231
§ 40. Рівновага тіл. Момент сили .....	233
§ 41. Коефіцієнт корисної дії механізму.....	238
Лабораторна робота № 12. Визначення ККД похилої площини .....	240
§ 42. Що таке енергія .....	242
§ 43. Механічна енергія і її види .....	244
§ 44. Використання енергії рухомої води і вітру .....	248
Навчальний проект.....	251
<b>Тестові завдання і задачі до розділу 7</b> .....	252–253
<b>Відповіді до тестових завдань і вправ</b> .....	254
<b>Предметний покажчик</b> .....	255

# Частина I

## Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання

### Розділ 1. ФІЗИКА ЯК НАУКА І ТЕОРЕТИЧНА ОСНОВА ТЕХНІКИ

- Які науки утворюють сучасне природознавство?
- Яка роль фізики у відносинах людини з природою?
- Як виникли такі галузі знань, як астрофізика, біофізика, геофізика, хімічна фізика?
- Чому фізика є основою техніки?
- Які прикладні застосування фізики?
- Як з'являються фізичні закони та фізичні теорії?
- Чому фізика вважається точною наукою?
- Атоми — основа світобудови?
- Чи можна розділити ядро?
- Нанотехнології — сьогодення чи майбутнє?
- Українські фізики — який їх внесок у становлення світової науки?
- Над якими проблемами працює сучасна фізика?



## § 1. ФІЗИКА ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА ПРО ПРИРОДУ

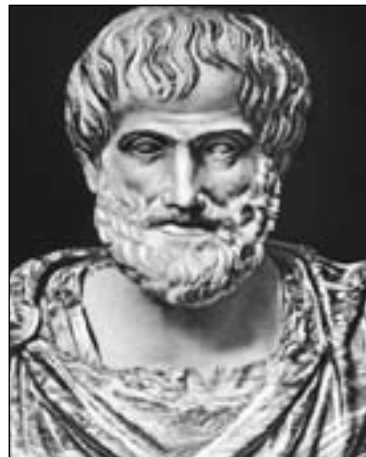
1. Фізика — наука про природу. Слово «*фізика*» у перекладі з грецької *φύσις* [фюзіс] означає *природа*. Його ввів у науку один із найвидатніших давньогрецьких вчених **Аристотель (384–322 рр. до н. е.)**. Під цим словом він розумів не просто природу, а суть речей і подій в природі. Безперечно, зміст терміну «фізика» в сучасній науці є значно ширшим.

У природі, яка нас оточує, постійно відбуваються різні зміни — *явища природи* (зміни дня і ночі, пір року, зміна положення зір на небосхилі, припливи та відпливи у морях і океанах, рух земної кори тощо). З часів зародження цивілізації людина цікавилася явищами природи та намагалася їх дослідити. В епоху античної культури не було поділу знань про природу на окремі науки. Проте історичний досвід нагромадження природничих знань показав, що вивчати природу за допомогою окремих наук значно результативніше, оскільки кожна природнича наука має свої засоби пізнання природи.

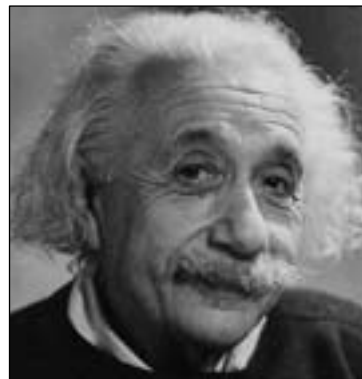
*Фізика — одна із наук про природу.*

Що ж є найсуттєвішим у пізнанні природи засобами фізичної науки? Один із творців сучасної фізики, німецький вчений **Альберт Ейнштейн (1879–1955)** з приводу цього зазначив: «Те, що ми називаємо фізикою, охоплює групу природничих наук, які ґрунтують свої поняття на вимірах...».

Отже, фізика, насамперед — наука *експериментальна*. На основі спостережень



Аристотель  
(384–322 рр. до н. е.)



Альберт Ейнштейн  
(1879–1955)

*Фізика — це наука, що вивчає найзагальніші закономірності тіл і явищ природи і за їх допомогою пояснює все, що відбувається навколо нас*

*Фізика — фундаментальна наука про природу*

*Фундаментальний (від лат. *fundamentation* — основа, опора)*

і експериментів людина поступово відкриває таємниці природних явищ і набуває влади над природою!

**2. Місце фізики серед інших природничих наук.** Із накопиченням відомостей про природні явища виділилися окремі науки, а саме: фізика, хімія, біологія, географія, астрономія та інші. Ці науки займаються вивченням природи, а тому називаються *природничими* і утворюють таку галузь, як *природознавство*. З-поміж них фізика займає особливе місце: її знаннями і методами користуються в усіх природничих науках. Саме тому фізика є основою (фундаментом) усього природознавства. Недарма її називають *фундаментальною* наукою про природу. На рис. 1 показано окремі галузі наукового знання, які виникли внаслідок застосування методів і засобів фізики в інших природничих науках.

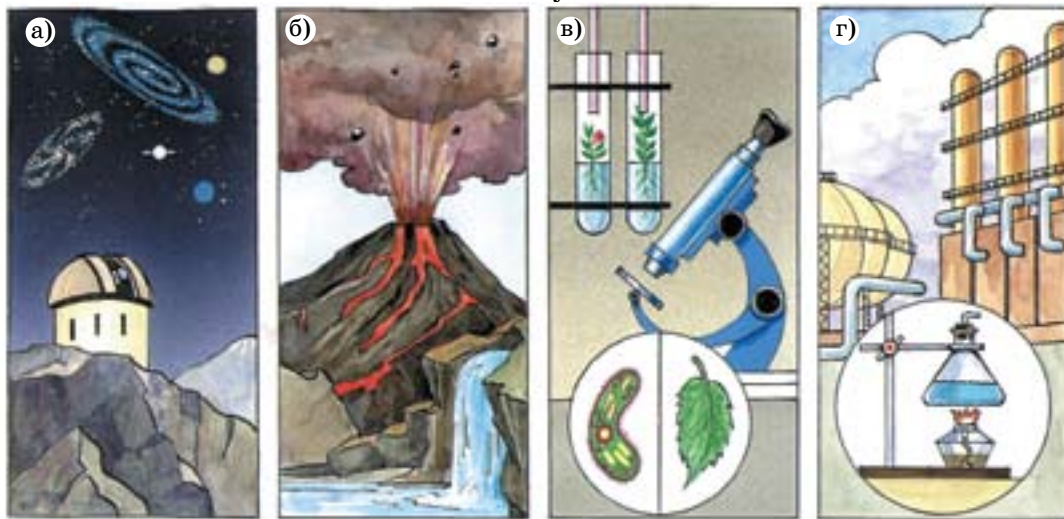


Рис. 1. Галузі застосування фізичних знань:

а) астрофізика; б) геофізика; в) біофізика; г) хімічна фізика

**3. Фізичне явище. Фізичне тіло.** Явища природи, що вивчають у фізиці, називаються *фізичними явищами*. Багато фізичних явищ мають спільні ознаки і властивості. Залежно від цього виділяють *механічні, світлові, теплові, електромагнітні* та інші фізичні явища (рис. 2).

Будь-яке фізичне явище відбувається з деяким конкретним, відокремленим об'єктом у природі. Кожний такий об'єкт називають *фізичним тілом* або *просто тілом*.

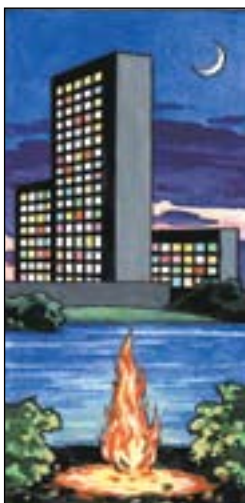
**4. Фізична властивість тіла (або явища). Фізична величина.** Спостерігаючи різні тіла або явища, легко побачити, що вони завжди мають певні ознаки, за якими їх легко відрізнити одне від одного. *Ознаки, притаманні фізичному тілу або явищу, називаються його фізичними властивостями.*

*Прикладами фізичних явищ є рух автомобіля, світіння лампочки, кипіння води, обертання стрілки у компасі*

*Фізичне тіло — це будь-який об'єкт природи, вивчення якого здійснюється засобами фізики*



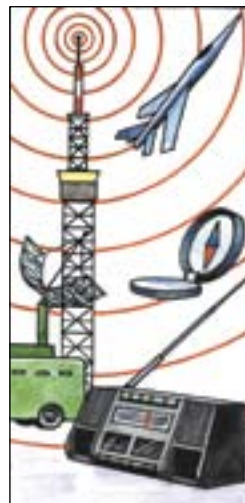
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Приклади фізичних явищ: а) механічні; б) світлові; в) теплові, г) електромагнітні



## Деякі фізичні властивості, фізичні величини та їх одиниці

Таблиця 1

№ з/п	Фізична властивість	Назва фізичної величини	Позначення	Назва одиниці	Позначення
1.	Лінійні розміри тіла	довжина	$L$	метр	м
2.	Величина поверхні тіла	площа	$S$	метр квадратний	$\text{м}^2$
3.	Частина простору, яку займає тіло	об'єм	$V$	метр кубічний	$\text{м}^3$
4.	Тривалість подій (явищ)	час	$t$	секунда	с

*Фізична величина — це властивість, що є спільною для багатьох тіл в якісному відношенні, але в кількісному — різна для кожного з тіл*

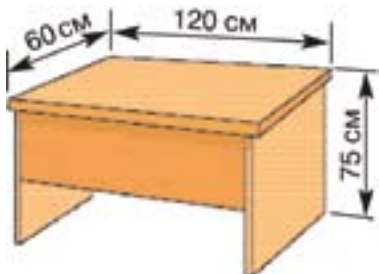


Рис. 3. Вимірювання лінійних розмірів учнівського стола

Фізика вивчає такі властивості, які можна оцінити *кількісно* (мовою математики) та *виміряти*. Вони називаються *фізичними величинами*.

Прикладом фізичної величини є площа поверхні тіла. Наявність поверхні — це *властивість* фізичного тіла. А *кількісною характеристикою* поверхні тіла є *площа цієї поверхні*. Отже, площа поверхні тіла — це *фізична величина*.

Фізичними величинами є також довжина, об'єм тіла та інші (див. табл. 1).

**5. Що означає виміряти фізичну величину? Одиниця величини.** Щоб відповісти на це питання, звернемося до рис. 3. На ньому показано лінійні розміри учнівського стола: найбільша довжина по горизонталі (довжина стола) — 120 см; найменша довжина по горизонталі (ширина) — 60 см; довжина по вертикалі (висота) — 75 см.

*Зверніть увагу:* вимірюючи довжину, ширину і висоту стола, ми порівнюємо кожну з цих величин з умовно прийнятою одиницею довжини, у даному випадку *одним сантиметром*. І це не випадково.

*Фіксоване (одиничне) значення фізичної величини називають одиницею цієї величини.*

У результаті кількісного порівняння фізичної величини з її одиницею отримують значення цієї фізичної величини.

Для позначення фізичних величин використовують літери латинського і грецького алфавітів, а одиниць величин — українські літери (див. таблицю 1).

У більшості випадків фізичну величину визначають безпосередньо за допомогою певного пристрою, який називають *засобом вимірювання*. Є два види вимірювальних засобів: міри та вимірювальні прилади (рис. 4, а, б, в, г).

*Міра* забезпечена шкалою, яка дозволяє зафіксувати певні значення вимірюваної величини (лінійка, міра кравецька).

*Вимірювальний прилад* має покажчик, що може переміщуватись вздовж шкали приладу і за положенням якого визначають значення фізичної величини (терези, секундомір, термометр).

### Висловіть свою думку

Де у побуті ви постійно здійснюєте вимірювання фізичних величин? Для чого це потрібно?

**6. Міжнародна система одиниць фізичних величин.** Із метою попередження різночитання фізичних величин і їх одиниць встановлюють міжнародні стандарти та конструюють відповідні еталони. Одним із таких еталонів є еталон метра.

У 1791 р. Французька академія наук запропонувала взяти за одиницю довжини десятимільйонну частину чверті паризького меридіану. На думку учених, це робило



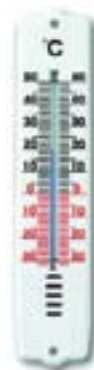
а)



б)



в)



г)

**Рис. 4.** Засоби вимірювання: а) міра кравецька; б) терези; в) секундомір; г) термометр



Рис. 5. Еталон метра



Рис. 6. Міри довжини

*У фізичних лабораторіях створюються нові галузі техніки і нові методи розв'язання технічних завдань*

одиницю довжини такою, що легко відтворюється, оскільки вона була пов'язана з незмінним об'єктом природи. Сучасним Міжнародним еталоном метра є брусок особливої форми, виготовлений зі сплаву платини з іридієм, на якому нанесено два штрихи (рис. 5). Відстань між цими штрихами дорівнює 1 м. Еталон метра донині зберігається у Міжнародному бюро мір і ваги в м. Севрі (Франція). Різні країни мають точні копії цього еталону.

Більшість країн світу дотримуються *Міжнародної системи одиниць* (скорочено — СІ). Ця система одиниць фізичних величин прийнята на XI Генеральній конференції по мірах і вагах у 1960 р. та доповнена у 1963 р. Використання системи СІ сприяє підвищенню точності вимірювань в усіх галузях науки, техніки й економіки. Застосування Міжнародної системи одиниць на території України закріплено законодавчо з 1998 року.

Основними одиницями СІ є такі: 1 метр, 1 кілограм, 1 секунда та чотири інших (про них ви дізнаєтеся при подальшому вивченні фізики).

**7. Фізика в побуті, техніці і виробництві.** У значній мірі фізика виникла з потреб техніки і неперервно використовує її досвід, а тому має багато прикладних застосувань: транспорт, електротехніка, радіоелектроніка, автоматика, нанотехнології, комп'ютерна і побутова техніка тощо. Основою роботи побутових приладів, різних транспортних засобів, комп'ютерів є фізичні знання.



## ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Фізичний стан тіла. Фізичний процес

Кожне природне тіло може мати декілька фізичних властивостей, які визначають стан тіла. Якщо жодна з них не змінюється з часом, то кажуть, що це тіло перебуває у певному незмінному *фізичному стані*. Зміна будь-якої з фізичних властивостей тіла означає зміну його фізичного стану. І навпаки: твердження «фізичний стан тіла змінився» рівнозначний тому, що змінилось значення хоча б однієї із фізичних властивостей цього тіла.

Будь-яка зміна стану тіла з плином часу називається *фізичним процесом*.

### Історія фізики: вчені і факти

Узагальнення фізичних знань, накопичених на той час, уперше було зроблено Аристотелем у праці «Фізика». У ній він виклав уявлення про фізичні закономірності розвитку світу на основі спостережень.

Аристотель — один із найвідоміших учених стародавньої Греції. Його праці охоплювали всі галузі тодішньої науки: фізики, географії, астрономії. Аристотель, зокрема, сформулював закон прямолінійного поширення світла, дослідив види механічного руху, пояснив утворення звуку.

Учення Аристотеля було підсумком знань попереднього періоду. Але Аристотель не врахував передових наукових ідей своїх попередників, тому деякі його погляди гальмували розвиток фізики.

### Розширте науковий кругозір

Виникнення природничих наук було пов'язане з практичними потребами людини. У стародавніх Єгипті, Китаї, Вавилонії, Греції необхідно було відділяти земельні ділянки та вимірювати час, слідкувати за зміною пір року, за повторенням повеней і виверженням вулканів, за життям рослин і тварин.

Існують ще математичні і гуманітарні науки. Математичні науки (алгебра, геометрія, тригонометрія) вивчають числа, кількісні співвідношення між величинами. Гуманітарні науки досліджують закономірності розвитку суспільства та роль людини у цьому розвитку.

### Домашнє експериментальне завдання

Перевірте розмір своєї ноги. Для цього треба виміряти довжину стопи у сантиметрах. Поставте ногу на чистий лист паперу, перенесіть на нього всю вагу свого тіла і обведіть стопу олівцем. Олівець треба тримати вертикально та якомога ближче до стопи (рис. 7). За допомогою лінійки виміряйте відстань між крайніми точкам — п'яткою та найдовшим пальцем. Одержавши довжину ступні в сантиметрах, скористайтеся мережею Інтернет і співставте довжину своєї ступні з таблицею розмірів взуття. Тепер ви завжди носитиме зручне взуття!

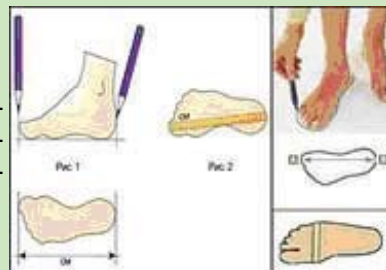


Рис. 7.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що вивчає фізика? Що називають фізичним тілом? фізичним явищем?
2. Які види фізичних явищ ви знаєте? Наведіть приклади.
3. Що називають властивістю тіла або явища? Які властивості досліджує фізика?
4. Що називають фізичною величиною? Наведіть приклади фізичних властивостей тіла і відповідних фізичних величин.
5. Що означає «виміряти фізичну величину»? Що таке «одиниця величини»?
6. Як визначають числове значення фізичної величини?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 1.

1. Обґрунтуйте, чому природні явища поділяють на окремі види. Назвіть їх. Наведіть приклади.
2. Знайдіть у тексті § 1 приклади: окремих видів фізичних явищ; фізичних тіл; фізичних величин та їх одиниць.
3. Поясніть, як вимірюють і оцінюють довжину тіла?
4. За даними на рис. 3 визначте площу поверхні стільниці учнівського стола: у  $\text{см}^2$ ? у  $\text{м}^2$ ?
5. Міра кравецька (див. рис. 4, а) — це міра довжини чи вимірювальний прилад?

## § 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ І ТЕОРЕТИЧНИЙ МЕТОДИ ФІЗИКИ

Історія становлення сучасної фізики пов'язана із одночасним використанням двох її **методів** — **експериментального** і **теоретичного**. *Методи фізики* — це певне поєднання спостережень, експериментів і теоретичних узагальнень.

**1. Експериментальний метод фізики** базується на спостереженнях, експериментах і вимірюваннях.

Здійснювати спостереження фізичних тіл і явищ нам допомагають *органи чуття* (рис. 8). Органами чуття людини є *вухо, око, ніс, язик, пальці* (слух, зір, нюх, смак, чуття дотику). Наприклад, рух літака ми можемо фіксувати за допомогою *зору* або *слуху*. Результат нагрівання води можна оцінити на *дотик*. Випаровування парфумів сприймають органами *нюху*. Органи *смаку* дозволяють виявляти наявність (або відсутність) у стравах солі, цукру та інших речовин.

Проте, незважаючи на великі можливості відчуттів, вони не завжди дають істинні знання про природу.

Щоб переконатися в цьому, виконайте таке спостереження: візьміть три посудини з водою — гарячою, теплою та холодною (рис. 9, а, б); потримайте 2—3 хвилини пальці правої руки в гарячій воді, а лівої — у холодній. Після цього швидко опустіть ці ж пальці рук у посудину з теплою водою (рис. 9, б). Ви переконаєтеся, що відчуття пальців лівої і правої рук в одній і тій самій воді — різні!

**Метод** (від гр. *μεθοδος* [методос]) — шлях встановлення істини, спосіб досягнення певної мети.

**Експеримент** (від лат. *experimentum*) — дослід, проба.

*Спостереження — це цілеспрямоване вивчення фізичних тіл і явищ на основі безпосереднього сприйняття у природних або штучно створених умовах. У процесі спостереження дослідник не впливає на об'єкт вивчення*



Рис. 8. Органи чуття людини



а)



б)

Рис. 9. Спостереження на основі відчуттів. У трьох посудинах вода: а) гаряча, холодна; б) тепла



Галілео Галілей  
(1564–1642)

Отже, пізнання навколишнього світу на основі відчуттів є недостатньо достовірним. Спостереження дозволяють лише накопичити певну інформацію про явища, але після цього необхідно пояснити: як і чому вони відбуваються? Для відповіді на ці запитання виконуються експерименти. *Експеримент — це цілеспрямоване дослідження фізичних тіл і явищ у спеціально створених (штучних) умовах.* У процесі виконання експерименту дослідник може його багаторазово відтворити або зупинити.

Для проведення експерименту необхідно чітко визначити його мету, залежно від чого спланувати дії та створити найкращі умови для виконання експерименту. Також треба мати спеціальне обладнання і вимірювальні прилади, зібрати дослідну установку (або модель), правильно обробити експериментальні результати.

З розвитком науки і техніки люди почали виготовляти прилади та інші технічні пристрої, за допомогою яких спостереження і досліди стали більш результативними. Наприклад, видатний італійський фізик і астроном **Галілео Галілей (1564–1642)** побудував перший у світі телескоп, за допомогою якого було виявлено, що поверхня Місяця є гористою, **Юпітер — має чотири супутники**, а навколо Сатурна існують кільця. Сучасні телескопи є основним засобом спостереження за небесними тілами.

Звичайно, щоб здобувати фізичні знання, недостатньо лише спостерігати явища, виконувати експерименти і будувати фізичні прилади. Треба ще й обдумувати умови та результати спостережень, відшукувати причинні зв'язки між явищами, даючи

відповіді на запитання: що від чого і яким чином залежить? Саме через *обдумування (міркування)* можна виявляти найістотніше у явищах і подіях в природі та формулювати відповідні *висновки і припущення*.

**2. Теоретичний метод фізики.** Визначальними у теоретичному методі фізики є *наукові припущення і здогадки, спрощення і ідеалізація, узагальнення і систематизація знань*.

Припущення, яке обґрунтоване науковими фактами, називають *гіпотезою*. *Гіпотеза у фізиці вимагає дослідної перевірки*. Саме після дослідної перевірки гіпотеза або стає науковим знанням, або ж її відкидають як неправильне припущення.

Для прикладу розглянемо історію відкриття природи блискавки. Американський учений **Бенджамін Франклін (1706–1790)** висловив гіпотезу, що блискавка — це величезна електрична іскра, яка виникає між наелектризованими хмарами (рис. 10, а).

Для перевірки цієї гіпотези Франклін провів такий дослід. Коли надходила гроза, він запускав шовковий повітряний змій, прив'язавши його вологою мотузкою до масивного залізного крюка в кімнаті. А коли хмара проходила, підносив палець до крюка і зазнавав електричного удару від іскри, що в цей час проскакувала між крюком і пальцем. Цим він підтвердив, що блискавка — це електричний розряд. Подальші дослідження блискавки дали Франкліну можливість сконструювати перший блискавковідвід, різновиди якого тепер використовують у всьому світі (рис. 10, б).

**Гіпотеза** (від гр. *hypothesis*) — припущення, основа.



а) блискавка у природі



б) блискавковідвід

**Рис. 10.** Блискавка та захист від неї



Бенджамін Франклін  
(1706–1790)



Мегасвіт



Макросвіт



Мікросвіт

Рис. 11. Уявлення про Всесвіт, як єдність трьох світів



Ісаак Ньютон  
(1643–1727)

**3\*. Форми (рівні) узагальнення знань у фізиці.** Під час спостережень і дослідів учені отримують *окремі знання* про властивості тіл і явищ. Але *розрізнені знання не є цінними*. Їх необхідно *узагальнювати*, тобто виявляти спільну природу та закономірності явищ, подібність у властивостях тіл. Це дозволяє кількісно описувати явища, встановлювати між ними зв'язки, формулювати закони природи та передбачати існування нових законів і закономірностей. Основними формами (рівнями) узагальнень у фізиці, є: *наукові факти*, *фізичні поняття*, *фізичні закони* і *фізичні теорії*. Найвищим рівнем узагальнення фізичних знань є *фізична картина (образ) світу*. Вона становить лише частину всієї системи знань про природу, оскільки будується на основі лише *фізичних* теорій.

Фізична картина світу, спільно з астрономічною, біологічною, хімічною картинами світу, створюють цілісний образ світу, який називають *єдиною природничо науковою картиною світу*.

На основі природничо-наукової картини світу можна описати весь навколишній світ, який умовно поділяють на *мега-*, *макро-* і *мікросвіти* залежно від розмірів тіл, які їх утворюють. Поділ матеріального світу на мікро-, макро- і мегасвіти є умовним тому, що ці світи існують одночасно: мегасвіт утворений з макротіл, а макротіла — з мікрочастинок.

Вперше наукову картину світу було побудовано на основі праць **Ісаака Ньютона (1643–1727)** та його послідовників.



**4\*. Методи фізики — нероздільні та взаємопов'язані.** Отже, підіб'ємо підсумок означення з методами фізики.

*Експериментальний метод* забезпечує розроблення і здійснення фізичних експериментів, та систематизацію їх результатів.

*Теоретичний метод* дозволяє узагальнювати виявлені закономірності та формулювати фізичні теорії і загальні закони природи. Після встановлення певного закону або формулювання фізичної теорії фізики перевіряють можливості їх застосування до явищ. Саме завдяки поєднанню цих методів, починаючи з часів Г. Галілея і І. Ньютона, відбувся стрімкий розвиток фізики.

За словами А. Ейнштейна, у розвитку сучасної фізики неможливо відокремити експериментальний і теоретичний методи, оскільки вони завжди поруч, нероздільні та взаємопов'язані один з одним.

### Основні етапи наукового пізнання:



#### Подумайте і дайте відповідь

1. Як ви розумієте термін «метод»? Що відноситься до методів фізики?
2. Назвіть два основні методи фізичного пізнання.
3. Що таке спостереження? дослід?
4. Наведіть приклади набування фізичних знань шляхом міркувань.

#### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

##### Вправа 2.

1. Доведіть, що спостереження і експеримент не є тотожними методами фізики.
2. Наведіть приклад того, як певне наукове передбачення (гіпотеза) стало фізичним знанням.
- 3\*. Назвіть основні форми (рівні) узагальнення фізичних знань.
- 4\*. Обґрунтуйте, що узагальнення певних фізичних знань є способом набування нових знань.

## • ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### Ознайомлення з вимірювальними приладами.

#### Визначення ціни поділки шкали приладу

##### *Мета роботи*

Навчитися визначати основні характеристики засобів вимірювання; виконувати вимірювання за допомогою найпростіших засобів вимірювання; оцінювати похибку вимірювання; виконувати запис результатів вимірювання.

*Прилади і матеріали:* 1) лінійка; 2) мірний циліндр (мензурка); 3) термометр; 4) брусок, розміри якого вимірюють; 5) склянка з водою; 6) невелика посудина, місткість якої треба виміряти.

#### Теоретичні відомості

*Вимірювання* — це експериментальне визначення фізичної величини, яка характеризує тіло або явище, з використанням *засобів вимірювання*. На шкалі вимірювального засобу нанесено *поділки*. *Ціна поділки* — це значення найменшої поділки шкали.

Для визначення ціни поділки шкали вимірювального засобу потрібно взяти різницю двох сусідніх чисел, нанесених на шкалі, і поділити цю різницю на кількість поділок між числами.

При вимірюванні фізичних величин результат має бути якомога більш точним. Від чого залежить точність вимірювань?

Розглянемо приклад вимірювання довжини тіла за допомогою двох лінійок (рис. 12).



Рис. 12. Вимірювання довжини тіла за допомогою двох лінійок з різною ціною поділки

Шкали цих лінійок мають різну ціну поділки: перша — один сантиметр, друга — один міліметр. Очевидно, що лінійка з меншою ціною поділки забезпечує більш точний результат.

Отже, точність вимірювань залежить від ціни поділки шкали вимірювального засобу: *чим менша ціна поділки, тим більша точність вимірювань*.



Таким чином, вимірювання фізичних величин супроводжується певними *похибками*, які зумовлені *особливостями конструкції* тих чи інших засобів вимірювання.

Тому вводиться поняття *похибки засобу вимірювання*.

*Похибка засобу вимірювання (абсолютна похибка)* дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу. Її позначають грецькою літерою  $\Delta$  (дельта).

Як записати результат вимірювань з урахуванням похибки? Якщо при вимірюванні було одержано значення фізичної величини  $a$ , а похибка засобу вимірювання  $\Delta a$ , то результат вимірювання запишеться так:

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

Завдяки тому, що похибки, допущені у процесі вимірювань та обчислень фізичних величин, завжди можна оцінити, *фізика є точною наукою*.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомтеся з теоретичними відомостями.

2. Розгляньте прилади для вимірювання — лінійку, мірний циліндр (мензурку), термометр, визначте їх основні характеристики та заповніть таблицю 2.

3. Ознайомтеся з правилами вимірювання лінійкою, мензуркою, термометром. Під час вимірювання лінійкою необхідно: а) прикласти лінійку до бруска (око повинно дивитися так, щоб лінія зору була перпендикулярна до площини лінійки в точці зчитування); б) сумістити з краєм бруска нульову поділку шкали лінійки; в) визначити за положенням іншого краю бруска значення його довжини. Під час вимірювання мензуркою зчитування поділок треба робити так, як показано на рис. 13.

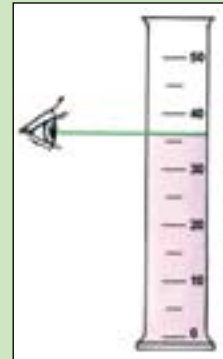


Рис. 13. Зчитування поділки мензурки

4. Виміряйте довжину бруска лінійкою. Знайдене значення занесіть у таблицю 2 разом з похибкою вимірювання і запишіть результат вимірювання.

5. Виміряйте місткість посудини за допомогою мензурки, запишіть у таблицю 2 похибку вимірювання та його результат.

6. Виміряйте температуру води і запишіть відповідні результати в таблицю 2.

## Розділ 1. Фізика як наука і теоретична основа техніки

7. Зробіть висновки щодо:

- призначення різних вимірювальних засобів;
- похибок, які виникають при вимірюванні фізичних величин;
- експериментаторських умінь, яких ви набули під час виконання роботи.

Узагальнені результати вимірювань і обчислень  
(до лабораторної роботи № 1)

Таблиця 2

Основні характеристики \ Засіб вимірювання		Лінійка	Мензурка	Термометр
Фізична величина, яка вимірюється				
Одиниці вимірювання				
Межі вимірювання				
Шкала	Значення сусідніх оцифрованих позначок			
	Кількість поділок між ними			
	Ціна поділки			
	Похибка вимірювання			

	Покази засобу вимірювання	Похибка вимірювання	Результат вимірювання
Довжина бруска ( $l$ )			
Місткість посудини ( $v$ )			
Температура води ( $t$ )			

### Контрольні запитання

1. Назвіть основні характеристики вимірювальних засобів, з якими ви ознайомилися під час виконання лабораторної роботи.

### Додаткове завдання

Основний формат паперу, яким користуються в Україні для діловодства — А4. Папір такого формату ми використовуємо, коли пишемо заяву, друкуємо реферат або повідомлення, малюємо. Велика кількість журналів, що видаються в нашій країні та за її межами, теж мають формат А4.

Визначте розмір листа паперу форматом А4 у сантиметрах.

## • ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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

#### Мета роботи

Навчитися визначати об'єми рідин і твердих тіл декількома способами й оцінювати похибки вимірювань.

*Прилади та матеріали:* 1) мірний циліндр (мензурка); 2) аптечна склянка місткістю 50—100 мл; 3) металевий брусок і тверде тіло неправильної форми, що вміщуються в мензурці; 4) тверде тіло, що не вміщується в мензурці; 5) лінійка; 6) нитка; 7) відливна склянка; 8) сипкий матеріал (сухий пісок, цукор, пшоно). *Для додаткового завдання:* чайна та столова ложки.

#### Теоретичні відомості

Об'єм невеликого твердого тіла можна виміряти за допомогою мензурки. Для цього спочатку визначають ціну поділки мензурки. Потім наливають у мензурку таку кількість води, щоб тіло можна було повністю у неї занурити. Визначають об'єм води. Після цього тіло, об'єм якого треба виміряти, опускають на нитці у воду та визначають об'єм води з тілом. Знаходять різницю цих двох об'ємів, що й дорівнює об'єму досліджуваного тіла.

Якщо тіло не вміщується в мензурці, то його об'єм визначають за допомогою *відливної склянки* (рис. 14). Перед вимірюванням склянку заповнюють водою до отвору відливної трубки. Під час занурення тіла у відливну склянку частина води, що за об'ємом дорівнює об'єму тіла, виливається в мензурку. Визначаючи об'єм води у мензурці, знаходять об'єм тіла.



Рис. 14. Відливна склянка

#### Порядок виконання роботи

1. Визначте ціну поділки шкали мензурки.
2. Налийте в аптечну склянку води до її шийки. Перелийте воду в мензурку та визначте об'єм води в мензурці  $V_1$ . Визначте похибку вимірювання. Результати вимірювань запишіть у таблицю 3.
3. Занурте в мензурку з водою за допомогою нитки металевий брусок і визначте об'єм води з брусом у мензурці ( $V_2$ ).

4. Обчисліть за формулою  $V_{бр} = V_2 - V_1$  об'єм бруска  $V_{бр}$ . Результат обчислення запишіть у таблицю 3.

5. Повторіть дослід для тіла неправильної форми.

6. Виміряйте об'єм тіла, що не вміщується у мензурці, за допомогою відливної склянки.

**Узагальнені результати вимірювань і обчислень  
(до лабораторної роботи № 2)**

*Таблиця 3*

№ досліду	Вимірювана величина		Покази шкали мензурки, см <sup>3</sup>	Результат вимірювання (обчислення), см <sup>3</sup>	Похибка вимірювання, см
1.	Початковий об'єм води в мензурці ( $V_1$ )				
2.	Об'єм води в мензурці ( $V_2$ )	з металевим бруском			
		з тілом неправильної форми			
3.	Об'єм ( $V_2 - V_1$ )	металевого бруска			
		тіла неправильної форми			
4.	Об'єм тіла, виміряного за допомогою відливної склянки				
5.	Об'єм сипкого матеріалу, виміряного за допомогою мірної посудини				

7. Виміряйте за допомогою лінійки довжину, ширину та товщину металевого бруска й обчисліть його об'єм у см<sup>3</sup>. Порівняйте одержане значення з об'ємом бруска, який було виміряно з використанням мензурки.

8. Виміряйте об'єм сипкого матеріалу за допомогою мірного циліндру.

9. Зробіть висновки щодо:

- точності різних способів вимірювання об'ємів рідин, твердих тіл і сипких матеріалів;
- експериментаторських умінь, яких ви набули під час виконання роботи.

**Контрольне запитання**

У якому випадку об'єм металевого бруска буде визначений з більшою точністю — при вимірюванні за допомогою лінійки або мензурки?

### § 3. РЕЧОВИНА І ПОЛЕ. БУДОВА РЕЧОВИНИ

#### 1. Матерія та її види — речовина і поле.

*Матерія — це основне поняття природничо-наукової картини світу. Будь-яке тіло в природі є матеріальним.*

У свою чергу, розрізняють два види матерії: речовину і поле. *Речовина* — це тверді тіла, рідини, гази. Речовинами є, наприклад, метали, пластмаси, вода, повітря та ін. *Поле* — інший вид матерії. Поля, як і речовини, теж бувають різними. Існують, зокрема, поле тяжіння Землі (гравітаційне), електричне та магнітне поля. Прикладами полів є світло, радіохвилі. Будь-яке поле можна виявити за його дією на певні тіла. Так, внаслідок дії гравітаційного поля всі тіла притягуються до Землі; магнітна стрілка компаса обертається під дією магнітного поля.

**2. Як побудована речовина? Атоми і молекули.** Первинні уявлення про будову речовини були одержані вами при вивченні природознавства. Так, наприклад, ви знаєте, що речовини складаються із дрібних частинок — атомів і молекул. Атоми і молекули перебувають у безперервному хаотичному русі і взаємодіють між собою. Залежно від розташування і взаємодії частинок, речовина може перебувати у *твердому, рідкому та газоподібному* станах. Речовини поділяють на *прості і складні*.

Питання про будову речовини здавна цікавило людей. Так, давньогрецький учений і філософ Демокріт (близько 460–370 рр.

*Матерія — існує у двох видах — речовини та поля*



Демокріт  
(бл. 460 — 370 рр. до н.е.)

**Атом** (від гр. ατομος [атомос]) — неподільний.

*Згідно з молекулярно-кінетичною теорією всі речовини складаються з дрібних частинок: молекул, атомів або йонів. Частинки безладно (хаотично) рухаються і взаємодіють між собою*

The image shows a standard periodic table of elements, color-coded by groups. The first two columns (alkali and alkaline earth metals) are pink. Groups 13-18 (boron, carbon, nitrogen, oxygen, halogens, and noble gases) are yellow. Groups 3-10 (transition metals) are light blue. Groups 11-12 (copper, zinc, cadmium, mercury) are light green. The bottom two rows (lanthanides and actinides) are dark green.

**Рис. 15.** Періодична система хімічних елементів Д.І. Менделєєва

до н.е.) вперше висловив здогадку про те, що всі тіла складаються з найдрібніших частинок, які були названі ним *атомами*. Та лише у XIX ст. існування таких частинок підтвердилося експериментально, після чого було створено *молекулярно-кінетичну теорію будови речовини*.

Атомів у природі багато і вони мають різні властивості. Відповідно до цього розрізняють *хімічні елементи*. Атом — це найменша частинка *хімічного елемента*, яка є носієм його *хімічних властивостей*. Зараз відомо 118 хімічних елементів, з них 89 виявлені в природі, інші отримані штучно (експериментальним шляхом). Найпростішим є атом хімічного елемента *Гідрогену* (скорочено H — від початкової літери латинської назви хімічного елемента «hydrogene» — «той, що народжує воду»). Назва газу «водень», що складається з атомів Гідрогену, також відображає входження елемента до складу води).

Усі відомі сьогодні хімічні елементи систематизовані за своїми фізико-хімічними властивостями в Періодичній системі хімічних елементів Д. І. Менделєєва (рис. 15).

Атоми позначають умовними символами та зображають за допомогою схем-моделей — кружечків різних розмірів і кольорів. Це дуже зручно, особливо тоді, коли хочуть показати сукупність кількох різних атомів (рис. 16, а, б).

Зазвичай атоми об'єднані у групи — *молекули*.

*Молекула* — це найменша частинка *речовини*, яка зберігає її *хімічні властивості*. Молекула складається з одного або декіль-

кох атомів однакових або різних *хімічних елементів*. Атоми з'єднуються в молекулу за рахунок хімічних зв'язків.

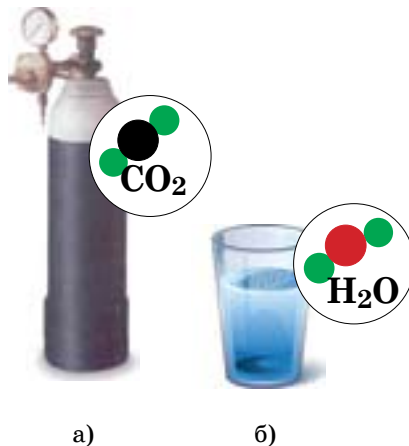
*Молекула простої речовини складається з атомів одного хімічного елементу*. Наприклад: газ водень — із двох атомів Гідрогену ( $H_2$ ); газ кисень — із атомів Оксигену (від грецького οξύωο [оксионо] — кислий) —  $O_2$ .

Якщо молекула речовини утворена з атомів різних хімічних елементів — таку речовину називають *складною речовиною*. Зокрема, молекула вуглекислого газу  $CO_2$  (рис. 16, а) складається із двох атомів Оксигену (O) й одного атома Карбону (C); молекула води  $H_2O$  (рис. 16, б) складається із двох атомів Гідрогену (H) і одного атома Оксигену (O). Модель молекули складної речовини ви можете побачити на рис. 16, в.

Під час *фізичних процесів* склад молекул речовини залишається незмінним, хоча сама речовина може змінювати свій стан. Наприклад, вода може перебувати у рідкому, твердому (лід) і газоподібному (водяна пара) станах. При цьому склад молекул води, льоду та водяної пари залишається однаковим: відмінність полягає лише у розташуванні та взаємодії молекул.

Під час *хімічних процесів* руйнуються зв'язки між атомами, які з'єднують їх у молекули, самі атоми при цьому залишаються незмінними. Атоми об'єднуються у нові групи молекул, унаслідок чого утворюються нові речовини.

**3. Які розміри молекул?** Численні експерименти свідчать про те, що вони дуже малі. Встановлено, що діаметр, напри-



**Рис. 16.** Молекули складних речовин: а) вуглекислий газ; б) вода; в) модель молекули складної речовини



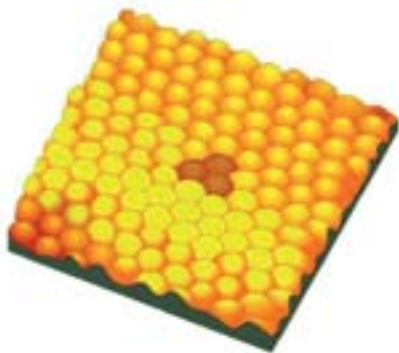


Рис. 17. Мікрофотографія атомів золота



Рис. 18. Електронний мікроскоп

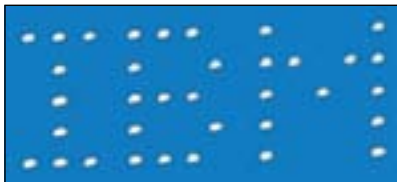


Рис. 19. Мікрофотографія літер IBM (англ. — [ай], [бі], [ем]), викладених з 35 атомів Ксенону

клад, молекули води дорівнює приблизно  $0,0000000003$  м ( $0,3 \cdot 10^{-9}$  м). Якщо розмістити молекули води щільно одна до одної в ряд, то в одному метрі вміститься близько 3,3 мільярди молекул! Тепер окремі молекули й атоми можна спостерігати за допомогою спеціальних (електронних, йонних та скануючих) мікроскопів. На рис. 17 показано мікрофотографію атомів золота зі збільшенням у 30000000 разів, одержану за допомогою електронного мікроскопу (рис. 18). На рис. 19 ви можете побачити мікрофотографію логотипу (IBM) найкрупнішого у світі постачальника апаратного і програмного забезпечення, викладеного з 35 атомів хімічного елементу Ксенону (Xe).

Дослідами встановлено, що молекули й атоми не мають чітких меж. Тому про їх лінійні розміри й об'єм можна говорити лише наближено.

Лінійні розміри атомів усіх хімічних елементів приблизно однакові — близько  $10^{-10}$  м або  $0,0000000001$  м. Але за масою вони значно відрізняються один від одного. Найменшу масу має атом Гідрогену (H) —  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Маса атома Карбону (C) у 12 разів, а маса атома золота (Au) — майже у 200 разів більші за масу атома Гідрогену.

**4. Внутрішня будова атома.** *Атоми також мають певну внутрішню будову і є подільними.*

Проте вчені не відразу дійшли правильних уявлень про будову атома — це був довгий шлях, на якому висловлювалися різні думки і будувалися різні моделі.

У 1911 р. завдяки дослідям англійського вченого **Ернеста Резерфорда (1871–1937)**



вдалося установити, що в центрі атома знаходиться маленьке позитивно заряджене ядро (рис. 20 а, б), а навколо нього *негативно заряджена* оболонка. Цю оболонку можна уявити як своєрідну хмаринку, утворену з електронів, що надзвичайно швидко обертаються навколо ядра атома. Таку модель будови атома назвали *ядерною (планетарною) моделлю атома*. Дійсно, внутрішня будова атома дещо схожа на будову Сонячної системи. Але, на відміну від неї, взаємодія частинок в атомі зумовлена не гравітаційними, а електромагнітними силами.

Як ви вже знаєте, навколо ядра атома обертаються електрони. Що це за частинка? *Електрон* — елементарна частинка, що має найменші негативний електричний заряд і масу. *Примітка:* електрон був відкритий у 1897 р. англійським фізиком Джоном Джозефом Томсоном (див. фото с. 31).

Порівняно з розмірами атома (близько  $10^{-10}$  м) ядро атома ще менше — приблизно  $10^{-14}$  —  $10^{-15}$  м. Тобто ядро менше за атом у 10 000 разів. Щоб уявити собі, що це означає, приймемо ядро атома за кульку діаметром 1 мм, тоді діаметр атома буде становити 10 м!

**5. Чи можна розділити ядро?** Модель атома, запропонована Резерфордом, дала поштовх у подальшому дослідженні атома. Частинка, що довгий час вважалась неподільною, виявляється, складається з позитивно зарядженого ядра й електронів! Закономірно виникли запитання: чи існують ще менші частинки? чи можна «розділити ядро»?



Ернест Резерфорд  
(1871–1937)

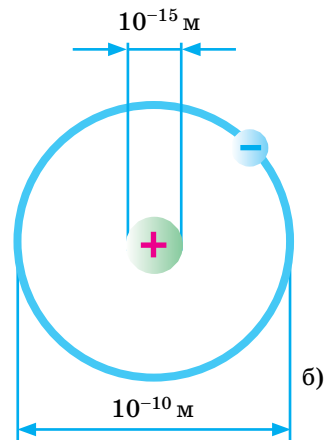
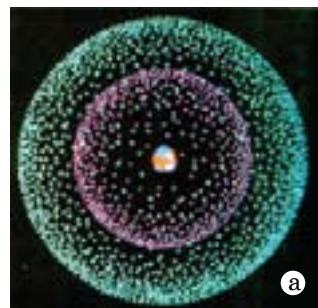


Рис. 20. Моделльні уявлення про будову і розміри атома



Джеймс Чедвік  
(1891–1974)



Дмитро Іваненко  
(1904–1994)



а)



б)

Рис. 21. Моделі будови атомів:  
а) атом Протію; б) атом Гелію

У 1932 році учень Ернеста Резерфорда, англійський фізик **Джеймс Чедвік (1891–1974)** відкрив *нейтрон*. Ця елементарна частинка не має електричного заряду. У тому самому році український фізик Дмитро Дмитрович Іваненко (1904–1994) запропонував *протонно-нейтронну модель будови ядра атома (протон — це елементарна частинка, яка має найменший позитивний заряд)*. Згодом цю гіпотезу було підтверджено й дослідним шляхом.

Таким чином, ядро атома також має складну будову: його утворюють ще менші частинки речовини — *протони* та *нейтрони* або *нуклони* (від лат. *nucleus* — ядро).

Протони та нейтрони об'єднуються один із одним усередині ядер за допомогою дуже потужних ядерних взаємодій (ядерних сил). У атомі число протонів ядра дорівнює числу електронів навколо ядра.

А чи є подільними протони та нейтрони? Відповідь на це запитання фізики шукають досі.

На рис. 21 а, б показано моделі будови атомів Протію ( $H_1^1$ ) та Гелію ( $He_2^4$ ) відповідно. (*Примітка:* запис  $He_2^4$  означає, що ядро атома Гелію складається із двох протонів і двох нейтронів — разом чотирьох *нуклонів*).

**6. Що відбувається, коли певним чином «видалити» електрон із атома?** За звичайних умов атоми є електрично нейтральними, оскільки число позитивно заряджених протонів у ядрі дорівнює числу негативно заряджених електронів, що обертаються навколо ядра. Тому їх електричні заряди взаємно компенсуються. Проте, якщо певним чином «видалити» електрон із атома, то кількість

електронів зменшиться і заряди вже не будуть компенсуватися, а отже, атом стає позитивно зарядженим і має спеціальну назву — *позитивний йон*. І навпаки: якщо електрично нейтральний атом приєднує до себе інший електрон, то він стає негативно зарядженим і називається *негативним йоном*.

**Отже, речовина — це вид матерії з якої побудовані фізичні тіла; речовина має складну будову.**



Джон Джозеф Томсон  
(1856–1940)

## Це треба знати

### Спосіб рядів

Ще в 1905 р. французький фізик Жан Батіст Перрен досліджував хаотичний рух у рідині дрібних тіл (частинок квіткового пилу) під дією, як згодом було встановлено, молекул. Для цього йому потрібно було якомога точніше виміряти розміри цих частинок. Вчений скористався *способом рядів*. Він щільно розмістив частинки квіткового пилу в ряд і виміряв довжину ряду. Поділивши довжину ряду на число частинок Перрен розрахував середній розмір частинки.

Спосіб рядів дозволяє отримати більш-менш точний розмір малого тіла та зменшити похибку вимірювання.

У наш час способом рядів вимірюють розміри дуже малих (мікроскопічних) тіл, використовуючи їх мікрофотографії. Такі фотографії отримують за допомогою сучасних мікроскопів (див. рис. 18). При такому вимірюванні необхідно спочатку підрахувати кількість частинок в одному ряду та виміряти довжину ряду (по фотографії). Після цього результат прямого вимірювання довжини ряду ділять на кількість частинок, а потім ще й на збільшення мікроскопа. Обчислений таким чином результат є середнім розміром мікрочастинки.

### Розширте науковий кругозір

Перша модель будови атома була запропонована у 1903 р. англійським фізиком Джоном Джоозефом Томсоном (ви вже знаєте, що він відкрив електрон). За цією моделлю атом представляє собою позитивно заряджену сферу, всередину якої, як родзинки в пудинг, вкраплені електрони. Інколи цю модель так і називають — «модель пудинга». Модель атома Томсона виявилася неспроможною у поясненні багатьох питань, які на той час стояли перед фізиками. Але вона мала величезне значення для подальших досліджень!



Рис. 22. Модель атома Томсона

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що означають терміни «матерія»? «речовина»?
2. Чим відрізняється одна речовина від іншої?
3. Що являє собою атом? молекула?
4. Поясніть, які речовини називають простими, а які — складними? Наведіть приклади.
5. Що ви знаєте про будову атома? про лінійні розміри атомів і молекул?
6. Якою є внутрішня будова ядра атома? Що таке нуклони?
7. Як утворюються позитивні та негативні йони?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 3.

1. Слово «атом» у перекладі з давньогрецької мови означає «неподільний». Чи справді це так? Відповідь обґрунтуйте.
2. Слово «молекула» в перекладі з латинської мови означає «маленька маса». Поясніть, чому частинки речовини одержали таку назву.
3. У чому полягає відмінність молекули кисню ( $O_2$ ) та молекули вуглекислого газу ( $CO_2$ )? (C — хімічний символ атома Карбону — від лат. *carboneum* — вугілля).
4. Запишіть символічне позначення Оксигену (O), якщо його ядро складається з 8 протонів і 8 нейтронів.
5. Краплина масла, об'єм якої становить  $0,003 \text{ мм}^3$ , розтікається поверхнею води тонким шаром і займає площу  $300 \text{ см}^2$ . Вважаючи, що товщина утвореного шару дорівнює діаметру молекули масла, визначте цей діаметр.

## • ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Вимірювання розмірів малих тіл різними способами

#### *Мета роботи*

Ознайомитися із способами вимірюванням лінійних розмірів малих тіл методом рядів і методом фотографії, а також об'ємів малих тіл за допомогою мензурки. Навчитися визначати розміри малих тіл. Навчитися визначати розміри малих тіл, які значно менші за ціну поділки шкали приладу.

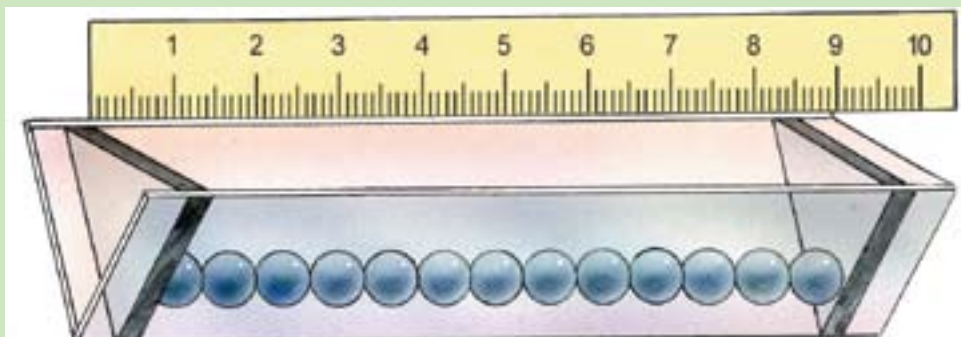
*Прилади і матеріали:* 1) лінійка; 2) мензурка з водою; 3) набір тіл малих розмірів (пшано, дріб, горох тощо); 4) мікрофотографії дрібних тіл.

#### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомтеся із способом рядів (див. с. 35). Скористайтеся цим способом, щоб виміряти розмір горошини.

2. Визначте ціну поділки шкали лінійки.

3. Визначте діаметр горошини. Для цього виконайте такі дії. Щільно розташуйте горошини в ряд (10 горошин) і виміряйте довжину цього ряду (рис. 23). Поділіть довжину ряду на кількість горошин і обчисліть діаметр горошини. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 4 (*дослід № 1*).



**Рис. 23.** Саморобний прилад для укладання ряду малих тіл та його вимірювання

4. Повторіть дослід, використавши 20 горошин. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 4 (*дослід № 2*).

**Результати вимірювань і обчислень лінійних розмірів малих тіл (до лабораторної роботи № 3)**

*Таблиця 4*

№ досліду	Кількість горошин, $N$	Довжина ряду, $L$	Похибка вимірювання, $\Delta L$	Результат обчислення, $d$	Результати вимірювання, $d + \Delta d$
1.					
2.					

5. Користуючись рисунком 17, на якому подано мікрофотографію атомів золота, обчисліть середній діаметр атому золота. Мікрофотографію отримано за допомогою мікроскопа, що дає збільшення приблизно у 30 000 000 раз. Оцініть точність результату вимірювання.

6. Зробіть висновки щодо:

- точності результатів вимірювання діаметра горошини та атому золота;
- впливу кількості частинок у ряду на похибку результату вимірювання;
- експериментаторських умінь, яких ви набули під час виконання роботи.

#### **Контрольні запитання:**

1. У чому полягає суть способу рядів у вимірюваннях лінійних розмірів малих тіл?
2. Чому розміри тіл, виміряні у спосіб рядів, є середніми?

#### **Додаткове завдання**

Запропонуйте метод вимірювання товщини аркушу паперу у підручнику з фізики за допомогою лінійки. Намалюйте схему такого методу.

## § 4. ФІЗИКА — НАУКА ІНТЕРНАЦІОНАЛЬНА. ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК І СТАНОВЛЕННЯ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ

Сучасні знання з фізики — це результат праці надзвичайно великої кількості учених: людей багатьох поколінь, країн і національностей. Отже, фізика — наука інтернаціональна (від. латинських слів *inter* — поміж та *nation* — народ), дослівно — міжнародна.

**1. З історії класичної фізики.** Класичною фізикою називають фізику періоду XVI—початку XX ст. Це є період становлення перших наукових знань про структуру речовини, який завершився створенням *молекулярно-кінетичної теорії речовини*. Проілюструємо інтернаціональний характер фізичних досліджень на прикладі історії розвитку уявлень про структуру речовини, починаючи з XVI ст.

Багато вчених присвятили свою діяльність дослідженню будови речовини. Англійський фізик і хімік **Роберт Бойль (1627–1691)** установив, що всі речовини можна розділити на два класи: хімічні елементи та хімічні сполуки. Російський учений **Михайло Васильович Ломоносов (1711–1765)** розвивав уявлення про те, що малі частинки матерії існують у двох формах — атому і молекули. Російський хімік і фізик **Дмитро Іванович Менделєєв (1834–1907)** класифікував усі відомі йому хімічні елементи і створив Періодичну систему хімічних елементів. Англійський ботанік **Роберт Браун (1773–1858)**, розглядаючи в мікроскоп рух частинок квіткового пилу



Михайло Васильович Ломоносов  
(1711–1765)



Дмитро Іванович Менделєєв  
(1834–1907)





Жан Батист Перрен  
(1870–1942)

*Атом залишається най-важливішим об'єктом наукових досліджень сучасної фізики*

*Нанотехнології дозволяють впорядковувати атоми в новому порядку і одержувати речовини з необхідними та надзвичайними властивостями*

у воді, помітив, що цей рух є безладним, а французький фізик **Жан Батист Перрен (1870–1942)** зумів пояснити це явище та довів існування молекул і розрахував їх розміри. Німецький фізик **Отто Штерн (1888–1969)** визначив швидкості руху молекул.

На основі досліджень цих і багатьох інших учених у ХХ ст. було створено теорію будови речовини — *молекулярно-кінетичну теорію*.

**2. Нанотехнології — найсучасніша галузь фізики.** Протягом всієї історії розвитку природознавства людство намагалось проникнути всередину речовини і дізнатись про її будову, ніби відчувало, що у подальшому саме атом стане тим інструментом, за допомогою якого людина зможе здійснити свою багатовікову мрію — змінити світ!

Ми підійшли впритул до такої можливості завдяки винайденню нанотехнологій. Останнім часом це слово використовується дуже часто, проте його реальний зміст зрозумілий не кожному. Що ж означає це слово? *Нанотехнології — це технології роботи з об'єктами, які мають лінійні розміри у декілько нанометрів (мільярдної долі метра).* Щоб оцінити цей масштаб, треба мисленно співставити земну кулю і монету номіналом в 1 копійку. Важливість нанотехнологій важко переоцінити, оскільки це — майбутнє!

*Основним об'єктом нанотехнологій і ключем до їх використання є атом.* Для успішних досліджень у галузі нанотехнологій необхідно знати будову атома, а також його здатність до взаємодії з іншими атомами.



*Нанотехнології* — одна із найсучасніших галузей фізичної науки і техніки. Засновником її є видатний американський фізик **Річард Фейнман (1918–1988)**. Він вперше вказав на можливість механічного переміщення одиничних атомів, тобто їх впорядкування у *новому порядку* (це називається маніпулюванням з атомами).

Термін «нанотехнологія» вперше вжив японський вчений **Норіо Танігуші (1912–1999)** у 1974 р.

У 1989 році в дослідній лабораторії IBM в м. Альмадене (штат Каліфорнія, США) голландський фізик Дональд Ейглер написав слово IBM (рис. 19) за допомогою пристрою, який дозволив розміщувати атоми у довільному порядку. Саме завдяки цьому стало можливим викласти атоми у вигляді літер!

Переміщення окремих атомів можна здійснювати за допомогою *«лазерного пінцету»*. Як наслідок, отримано нову речовину товщиною в один атом Карбону. Це вуглецевий наноматеріал «графен», у якому атоми Карбону з'єднані у «комірки» формою правильного шестикутника зі стороною 0,142 нанометра (рис. 24). *Це сама тонка речовина у світі!* Її відкрили вчені-фізики **Андрій Гейм (1958 р.н.)** і **Костянтин Новосолов (1974 р.н.)**, працюючи у Манчестерському університеті (Великобританія). У 2010 році вони стали лауреатами Нобелівської премії — найпрестижнішої наукової відзнаки у світі.

**3\*. Які практичні досягнення нанотехнологій?** Якщо ви вважаєте, що нанотехнології — це справа далекого майбутнього, то ви



Річард Фейнман  
(1918–1988)

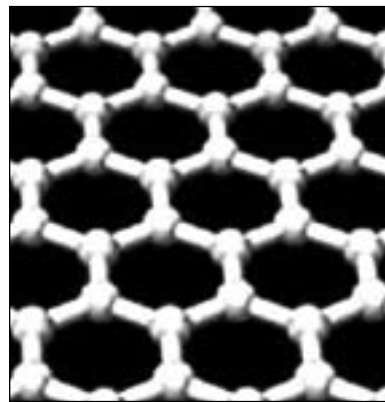
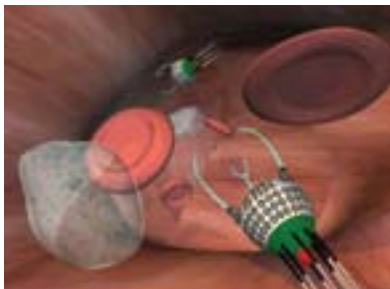


Рис. 24. Структура вуглецевого наноматеріалу «графену»



а)



б)



в)

**Рис. 25.** Застосування нанотехнологій: а) електромобіль; б) доставка ліків у місце захворювання; в) наноробот — «нанокомар»

помиляєтесь. Незважаючи на те, що сьогодні нанотехнології ще не мають величезних успіхів, але все ж таки їх досягнення є достатньо суттєвими. Нанотехнології дозволяють виробляти легкі і гнучкі будівельні матеріали, вискоєфективні фільтри для води і повітря. Ліки, виготовлені за допомогою нанотехнологій, дозволяють впливати лише на хворі клітини, не пошкоджуючи здорові, а косметика діє не лише на поверхню шкіри, але й на більш глибокому рівні.

Наведемо ще приклади можливих застосувань нанотехнологій:

- «створення» електромобіля (рис. 25, а);
- цільова (майже точкова) доставка ліків у місця виникнення захворювань (рис. 25, б);
- діагностика біологічно-шкідливих домішок у виробництві харчових продуктів;
- створення нанороботів;
- надщільний запис інформації в сучасних комп'ютерних системах. Наприклад, для збереження одного байта інформації у жорстких дисках використовуються 500 мільйонів атомів, а самий маленький «магнітний байт» може бути збережений з використанням всього 96 атомів.

Атом залишається найважливішим об'єктом наукових досліджень і сучасна фізика покладає на них величезні надії. Україна приділяє значну увагу розвитку нанотехнологій — це дозволить нашій країні стати в один ряд з найбільш конкурентноспроможними державами.

**4. Внесок українських учених у розвиток і становлення сучасної фізики.** Досягнення української науки в окремих галузях фізи-

ки і техніки та імена українських учених широко відомі у всьому світі. З ними ви будете знайомитися упродовж подальшого вивчення фізики. Відзначимо деяких відомих українських науковців.

**Іван Павлович Пулюй (1845–1918)** народився і закінчив гімназію на Тернопільщині. Працював у політехнічному університеті в м. Прага (тепер це столиця Чехії). Він вперше винайшов прилад для отримання і дослідження випромінювання, яке згодом було назване рентгенівськими променями.

**Борис Євгенович Патон (нар. у 1918 р.)** — відомий у світі український науковець у галузі електрозварювання, металургії та матеріалознавства. Народився в м. Києві, одержав освіту у Київському політехнічному інституті. Сьогодні працює над створенням зварювальних роботів. Борис Патон є не лише відомим науковцем, але й видатним організатором у галузі науки. Він очолює Інститут електрозварювання імені Євгена Патона. З 1962 р. — президент Національної Академії наук України.

Батько Б. Є. Патона — **Євген Оскарович Патон (1870–1953)** теж відомий учений. Його іменем названо міст через річку Дніпро. Це лише один із ста цільнозварювальних мостів у світі (рис. 26).

**Ігор Тамм (1895–1971)** — займався проблемами ядерної фізики та фізики елементарних частинок. Навчався у гімназії і працював у м. Єлісаветграді (нині Кіровоград). Викладав фізику у Таврійському університеті у м. Сімферополі та Одеському політехнічному інституті. Лауреат Нобелівської премії у галузі фізики (1958 р.).



Іван Павлович Пулюй  
(1845–1918)



Борис Євгенович Патон



Рис. 26. Міст Євгена Патона у місті Києві



Рис. 27. Пам'ятник Ігору Тамму



Рис. 28. Сонячні батареї на даху будинку як альтернативне джерело енергії

В Україні шанують учених, які зробили значний внесок у розвиток української та світової науки. Зокрема, у 2012 р. у м. Кіровограді встановлений пам'ятник Ігору Тамму (рис. 27).

**5\*. Які важливі проблеми розв'язує фізика сьогодні?** Однією із самих першочергових задач ХХІ ст. стає *енергозбереження*. Ми з вами звикли вмикати світло, не турбуючись про те, потрібно воно чи ні. Якщо помножити цифру витрат на кількість мешканців хоча б одного селища чи міста України, то результат вийде вражаючий. Але природні ресурси дуже швидко скорочуються, і це є величезною проблемою, яка стосується всіх держав. Зрозуміло, що створення енергозберігаючих технологій залежить, насамперед, від результатів фундаментальних досліджень у галузі фізики. Але ця проблема вимагає розв'язання не лише у промислових галузях, а й на побутовому рівні. Тому кожний з нас повинен усвідомити принципи і способи раціонального використання енергії, а також зробити особистий внесок у справу її економії.

Зупинимось ще на одній світовій проблемі, яку розв'язує фізика. Ми з вами живемо у повітряному океані — атмосфері. Яскравим прикладом впливу стану атмосфери на життя людства є катастрофічні погодні явища: тайфуни, засухи, повені, які призводять до величезної кількості людських жертв та економічних збитків. Тому сьогодні надзвичайно актуальною галуззю фізики є *фізика атмосфери* — вона передбачає прогноз погоди та зміну клімату на Землі, вивчає озоносферу і навіть досліджує атмо-

сферні і погодні умови на планетах Сонячної системи. У наш час зусиллями учених багатьох країн світу створюється Глобальна Система Моніторингу атмосфери, яка здійснює наземні, океанічні та космічні спостереження і дозволяє попереджати природні катастрофи у світовому масштабі.

Ми зупинилися лише на деяких проблемах сучасної науки, але ви могли впевнитися у тому, що фізика поєднує науковців з різних країн світу. Фізична думка випереджає час, а відтак ми можемо впевнено крокувати у майбутнє!



**Рис. 29.** Фізика атмосфери займається дослідженням різних погодних явищ

#### **Подумайте і дайте відповідь**

1. Які основні етапи розвитку учення про будову речовини?
2. Назвіть прізвища вчених, які зробили особливий внесок у становлення молекулярно-кінетичної будови речовини.
3. Що означає термін «нанотехнологія»? Назвіть окремі етапи розвитку знань у галузі нанотехнологій.
4. Наведіть приклади застосування нанотехнологій.
5. Назвіть прізвища видатних українських учених. Який внесок вони зробили у становлення і розвиток світової фізичної науки?

#### **Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

##### **Вправа 4.**

1. Обґрунтуйте твердження: фізика-наука інтернаціональна.
2. Поясніть, чому атоми є основним об'єктом нанотехнологій.
3. За рахунок чого нанотехнології дозволяють одержувати речовини з новими властивостями?
4. Чому проблеми енергозбереження і дослідження атмосфери стосуються усіх держав світу?
5. Доведіть, що важлива роль у становленні і розвитку світової фізичної науки належить українським ученим.



## Розширене науковий кругозір

### Фізика і культура

*Трипільська культура.* Так називають тривалий період розвитку людської цивілізації на території сучасної України (VI–III тисячоліття до н. е.). Засобами різних наук, у тому числі й фізики, вдалося встановити високий рівень розвитку виробництва, культури та побуту наших далеких предків.



Рис. 30. Майданецьке (Черкаська обл.)

Реконструкція за матеріалами археолого-магнітометричних досліджень і розкопок  
Малюнок М. Ю. Бабенко

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1

### Початковий рівень

1. До яких наук належить фізика?

А Гуманітарних.

Б Природничих.

В Математичних.

Г Суспільних.

2. Яке явище відноситься до фізичних?

А Утворення хлорофілу в листі рослин.

Б Розвиток живих організмів.

В Зміни в земній корі.

Г Кипіння води.

3. Який з перерахованих нижче вимірювальних засобів є вимірювальним приладом?

А Міра кравецька

Б Штангенциркуль.

В Секундомір.

Г Мензурка.

### Середній рівень

4. У чому полягає основна відмінність між вимірювальними приладами та мірами?

- А У наявності шкали.                      В У розмірах вимірювальних засобів.  
Б У способі вимірювання.            Г У значеннях ціни поділки шкали.

5. Речовина називається простою, якщо вона складається:

- А З малої кількості атомів.    В З атомів одного хімічного елементу.  
Б З великої кількості атомів. Г З атомів різних хімічних елементів.

6. З якою похибкою можна виміряти час за допомогою секундоміра, ціна поділки якого 0,5 с?

- А 0,1 с.                      Б 0,5 с.                      В 0,2 с.                      Г 0,25 с.

### Достатній рівень

7. Згідно сучасної ядерної моделі атома в центрі атома знаходиться:

- А Молекула.    Б Ядро.                      В Електрон.    Г Протон.

8. До складу молекули води входять:

- А Два атоми кисню.                      В Два атоми водню.  
Б Один атом кисню і два атоми водню.    Г Один атом водню.

9. Похибка вимірювання об'єму рідини за допомогою мензурки становить 0,5 см<sup>3</sup>. Яка ціна поділки шкали мензурки?

- А 0,5 см<sup>3</sup>.                      Б 1 см<sup>3</sup>.                      В 0,25 см<sup>3</sup>.                      Г 0,1 см<sup>3</sup>.

### Високий рівень

10. Чому атоми є основними об'єктами нанотехнологій?

- А Тому що атоми мають дуже малі розміри.  
Б Тому що атоми можуть взаємодіяти з іншими атомами.  
В Тому що атоми можна впорядковувати у новому порядку.  
Г Тому що з атомів можуть утворюватися йони.

11. Якою буде похибка вимірювання довжини тіла лінійкою, якщо між поділками лінійки з позначками 5 см і 6 см нанесені 5 поділок?

- А 0,2 см.                      Б 0,1 см.                      В 0,25 см.                      Г 1 см.

12. Рівень поверхні води у мензурці співпадає з 9-ю поділкою, розміщеною між двома найближчими поділками з позначками 50 см<sup>3</sup> та 100 см<sup>3</sup>. Який об'єм води у мензурці, якщо між поділками із вказаними позначками нанесено 10 поділок?

- А 90 см<sup>3</sup>.                      Б 85 см<sup>3</sup>.                      В 95 см<sup>3</sup>.                      Г 80 см<sup>3</sup>.



# Частина II

## Механічний рух

### Розділ 2. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ МЕХАНІЧНИЙ РУХ

- Чи можна уявити матерію без руху?
- Які рухи відбуваються на Землі й у Всесвіті?
- Чи знаходимося ми у спокої, якщо не рухаємося?
- Які необхідні відомості для описання механічного руху?
- При яких умовах реальне тіло можна розглядати як точку?
- Як зрозуміти вираз «Фізичні величини мають напрям у просторі»?
- Який прилад слугує для вимірювання швидкості руху?
- Що дозволяють визначити прилади супутникової навігації (GPS)?
- Яка швидкість є найбільшою у природі?
- Якої найбільшої швидкості досягла людина?



## § 5. МЕХАНІЧНИЙ РУХ. СИСТЕМА ВІДЛІКУ. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

**1. Що таке механічний рух?** У матеріальному світі, що нас оточує, постійно відбуваються різноманітні рухи.

З рухом тіл ми зустрічаємося постійно у повсякденному житті, у техніці і науці (рис. 31, а, б, в). Ми спостерігаємо рух людей і тварин, рух води у річках і морях, рух різних транспортних засобів, механізмів і машин. Рухається повітря, внаслідок чого виникає вітер, рухаються хмари по небу. З курсу природознавства ви знаєте, що земля кора теж здійснює певний рух, що призводить до зміни рівня Світового океану. Рухається кров у кровоносних судинах людей і тварин, рухаються рослинні соки по стеблах і стеблах рослин. У безперервному русі перебувають молекули і атоми, з яких складаються усі тіла. У космічному просторі рухаються Земля, інші планети та їх супутники, комети, метеорити, штучні супутники Землі і космічні станції. Здійснювати рух можуть не лише фізичні тіла: зокрема, рухаються звукові й світлові сигнали.

Лише завдяки рухові можна пізнати навколишній світ — ми розглядаємо предмети або спостерігаємо явища, стежачи за ними поглядом, повертаючи голову, переходячи з одного місця на інше. Практично усі фізичні явища супроводжуються рухом тіл. *Уявити матерію без руху неможливо!*

Поряд із цим ми бачимо й нерухомі тіла: будинки та інші споруди, стовпи електричного вуличного освітлення, колії залізниць знаходяться на певних місцях. Однак поді-

*Рух — загальна властивість матерії, одна із форм її існування*



а)



б)



в)

**Рис. 31.** Рухи у природі і техніці: а) рух води у водоспаді Джур Джур (найповноводніший водоспад Криму); б) рух супутника зв'язку навколо Землі; в) поширення світлового сигналу

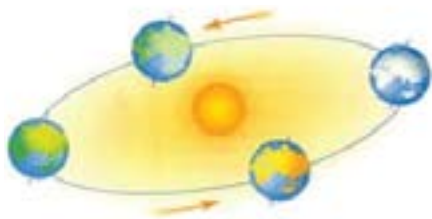


Рис. 32. Рух Землі відносно своєї осі та відносно Сонця

*У матеріальному світі не існує абсолютно нерухомих тіл!*

*Розділ фізики, у якому вивчається механічний рух та механічні взаємодії, називають механікою (від грецького слова *techanike* — знаряддя, споруда)*

*Час — це фізична величина, що характеризує послідовність і тривалість подій (явищ)*

бні приклади не спростовують твердження про те, що все у світі рухається. Справді, нерухомі відносно поверхні Землі тіла у той же час обертаються навколо її осі та навколо Сонця (рис. 32), при цьому разом із Сонцем і Землею вони рухаються навколо центра нашої Галактики — Чумацького шляху. Отже, *якщо навіть тіло є нерухомим відносно одних тіл, то воно обов'язково рухається відносно інших.*

З наведених прикладів руху ви можете зробити висновок: усі рухи різні, але їх об'єднує загальна властивість — внаслідок руху тіла змінюють своє положення у просторі.

*Механічним рухом називають зміну положення тіла в просторі відносно інших тіл.* Механічний рух — найпростіший вид руху.

Вивчення механіки ми починаємо з вивчення *механічних рухів*. При цьому нас не буде цікавити, як саме ці рухи виникли, тобто їх причини (якими є взаємодії між тілами).

Розділ механіки, у якому вивчаються властивості механічного руху без урахування взаємодій між тілами називається *кінематикою* (від грецького слова *kineta* — рух). До речі, відома вам назва *кінематограф* (той, що записує рух) теж походить від цього слова.

Будь-який механічний рух відбувається не лише у просторі, але й у часі. Кожному новому положенню тіла завжди відповідає і наступний момент часу. *Простір, рух і час — нероздільні.* При вивченні механічних рухів основна задача полягає у точному

вимірюванні часу. Є багато як природних (доба, рік), так і створених людиною (годинник, секундомір) мірників часу.

**2. Тіло відліку. Система відліку.** Які відомості необхідні для описання механічного руху тіла? Скажімо відразу: передусім треба обрати *систему відліку*. Що це таке?

Виконаємо дослід. Будемо переміщувати по столу візок (рис. 33). Підтвердженням руху візка є той факт, що він змінює своє положення відносно покажчика *A* та навколишніх предметів. Якщо б якимось чином усі предмети, які оточують візок, зникли, то і зафіксувати рух візка було б неможливо. *Тіло (предмет), відносно якого розглядається рух даного тіла, називають тілом відліку*. У даному досліді покажчик *A* — це тіло відліку. Якщо, наприклад, автобус рухається уздовж вулиці, то за тіло відліку можна взяти будь-який будинок, автобусну зупинку, газетний кіоск, перехрестя вулиць тощо. Тілом відліку може бути й інший автобус, що також рухається.

Але мати лише тіло відліку для описання руху недостатньо, адже необхідно визначити, *як саме змінюється положення тіла відносно обраного тіла відліку*. Як відомо з математики, положення точки (тіла) у просторі визначають за допомогою системи координат. Тому цілком очевидно, що з тілом відліку необхідно зв'язати систему координат, у якій кожному новому положенню тіла відповідатиме й нова координата.

Отже, *для того щоб визначити положення будь-якого тіла відносно тіла відліку треба з тілом відліку зв'язати систему*

*Простір нерозривно пов'язаний з матерією, він є нескінченним і безмежним*

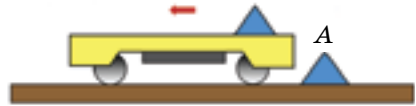
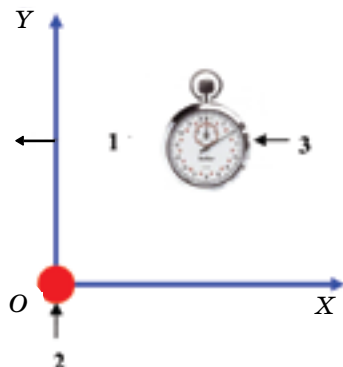


Рис. 33. Рух візка відносно тіла відліку *A*

*Щоб описати рух тіла треба насамперед вибрати тіло відліку*

*З тілом відліку треба зв'язати систему координат*



**Рис. 34** Система відліку:  
1 — система координат,  
2 — тіло відліку, 3 — прилад  
для вимірювання часу

координат. При цьому початок координат сполучається з тілом відліку (рис. 34).

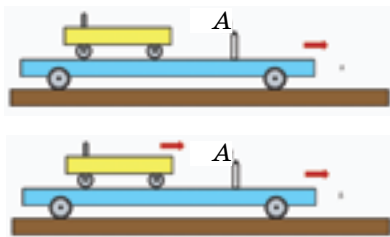
Очевидно, що координати тіла, що рухається в просторі, з часом змінюватимуться. Тому для характеристики руху треба ще знати, якому моменту часу відповідає та або інша координата. Для цього потрібно мати *годинник* (або інший прилад для вимірювання часу) та домовитися про *початок відліку часу*.

Таким чином, для того, щоб описувати, вимірювати та кількісно оцінювати основні характеристики механічного руху необхідно: 1) обрати тіло відліку; 2) зв'язати з тілом відліку систему координат; 3) узгодити початок відліку часу та спосіб його вимірювання.

*Тіло відліку, пов'язану з цим тілом системою координат і прилад для вимірювання часу називають системою відліку* (рис. 34).

**3. Відносність руху.** З наведених вище прикладів випливає, що стани спокою і рух тіл *відносні*, оскільки один і той самий рух відносно різних систем відліку відбувається по-різному. Для пояснення цього факту розглянемо приклади.

*Приклад 1.* Розмістимо на столі платформу з нерухомим покажчиком *A* та візком. Рухатимемо платформу праворуч (рис. 35). Візок при цьому буде нерухомий відносно платформи та покажчика *A* і одночасно рухатиметься разом із платформою відносно стола (рис. 35, а). Якщо ж надати візку швидкості відносно рухомої платформи, він перебуватиме одночасно у двох рухах — відносно платформи і відносно стола (рис. 35, б).



**Рис. 35.** До прикладу 1 про рух візка у різних системах відліку: а) візок нерухомий відносно платформи, але рухається відносно стола; б) візок рухається відносно платформи і відносно стола

*Приклад 2.* Пасажи́рський по́тяг рухається повз платформу (рис. 36). У вагоні сидить пасажир А. Вздовж вагона проходить провідник В. Людина С на платформі спостерігає ці рухи. Відносно провідника В пасажир А — нерухомий. Відносно спостерігача С рухомими є і пасажир А, і провідник В, який перебуває одночасно у *двох рухах* (рухається сам і рухається разом із протягом).

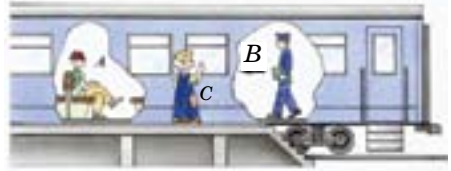


Рис. 36. До прикладу 2 про відносність руху і спокою пасажирів і провідника потягу

**4. Рух фізичного тіла і матеріальна точка.** Спробуйте уважно спостерігати за будь-яким рухом з метою його дослідження. Ви зрозумієте, що це є складним завданням, оскільки вимагає врахування багатьох умов. Зокрема, тіла мають певні розміри (інколи досить значні), а тому для точного описання руху слід знати, як рухаються окремі точки тіла. А чи можна розглядати зміну положення тіла як цілого? Для полегшення спостережень і експериментів у фізиці досить часто використовується такий теоретичний підхід, як *спрощення*. Покажемо, як це здійснюють при вивченні механічного руху.

Уявімо, що нам треба дослідити рух літака АН-224 «Руслан». Дальність польоту цього літака складає 11 000 км, його довжина — 69 м, а розмах крил — 73,3 м. Нехай нам треба оцінити тривалість польоту літака на максимальній дальності або визначити, скільки кілометрів він долає за певний час. Легко підрахувати, що відстань польоту перебільшує довжину літака майже у 160000 разів! Зрозуміло, що за таких умов можна знехтувати розмірами і формою літака порівняно з дальністю його

*Для того, щоб полегшити дослідження рухів, використовують спрощення*

*Спрощення дозволяє у процесі фізичного дослідження зосередити увагу на окремих властивостях фізичного тіла і не враховувати ті його властивості, які для розв'язання даного завдання можна вважати не істотними*





а)



б)

**Рис. 37.** Поняття про матеріальну точку: а) у польоті літак можна вважати матеріальною точкою; б) при русі по території аеропорту розміри літака слід враховувати

польоту і зобразити літак у вигляді точки. При цьому це не вплине на результати вимірювань, проте дозволить значно спростити опис руху літака.

Якщо розмірами і формою тіла в умовах даної задачі можна знехтувати, то його називають матеріальною точкою. У даному означенні особливу увагу слід звернути на вираз «в умовах даної задачі». Дійсно, у розглянутому нами прикладі з літаком «Руслан» його можна вважати матеріальною точкою у польоті (рис. 37, а), а от при маневруванні літака по території аеропорту або по руліжних доріжках його розміри і форму обов'язково слід враховувати для запобігання аварій (рис. 37, б).

Надалі ми будемо розглядати приклади механічних рухів, в яких розмірами і формами тіл можна нехтувати.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Який рух називають механічним? Наведіть приклади механічних рухів.
2. Чому для описання механічного руху необхідно мати тіло відліку? Що входить до системи відліку?
3. У чому виявляється відносність механічного руху?
4. Що таке матеріальна точка? Наведіть приклади.
5. У якому випадку Землю можна вважати матеріальною точкою: а) при розгляді її добового обертання навколо власної осі; б) при розгляді її річного руху навколо Сонця.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 5.

1. Укажіть можливі тіла відліку для рухів: літака, підводного човна, лижника з трампліна, Землі навколо Сонця.
2. Порівняйте поняття «тіло відліку» і «система відліку». Чим вони відрізняються? Що у них спільного?
3. Поясніть, чи рухаються автомобілі відносно системи відліку: а) пов'язаної із Землею? б) пов'язаної з одним із автомобілів?



## § 6. ТРАЄКТОРІЯ. ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ

**1. Траєкторія.** Для описання руху необхідно вказати, як змінюється його положення з плином часу.

*Лінія, яку описує матеріальна точка під час руху, називається траєкторією руху (рис. 41).*

Наприклад, під час зоряних дощів метеоритні тіла прокреслюють на небі яскраві лінії — траєкторії руху цих тіл. Якщо ви рухаєтесь на ковзанах, то на льоду залишається слід від лез — це траєкторія вашого руху (рис. 38).

Траєкторія дає можливість одразу побачити всі точки, в яких перебувало тіло впродовж руху. Іноді вона може бути відома ще до початку руху тіла. Так, полотно залізниці визначає траєкторію руху потягів. Для здійснення польотів завчасно розраховують траєкторії руху літаків, штучних супутників Землі, космічних кораблів і станцій.

Залежно від форми траєкторії всі механічні рухи можна поділити на два види: *прямолінійні та криволінійні*.

*Якщо рухоме тіло (матеріальна точка) описує пряму лінію, рух називають прямолінійним (рис. 39, а). При криволінійному русі траєкторією є крива лінія (рис. 39, б).*

Траєкторія одного і того самого руху тіла у різних системах відліку має різну форму.

Розглянемо приклад. Нехай на платформі, напрям руху якої показано стрілкою (рис. 40), вільно падає куля. Для спостерегача  $C_1$ , нерухомого відносно платформи, тра-



Рис. 38. Траєкторії руху лез ковзанів



а)

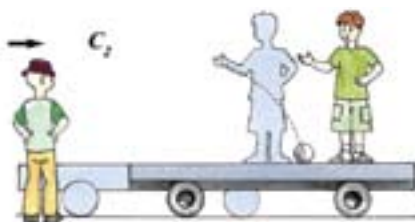


б)

Рис. 39 Два види механічних рухів: а) прямолінійний рух; б) криволінійний рух



а)



б)

**Рис. 40.** Залежність форми траєкторії руху кулі від вибору системи відліку: а) відносно платформи траєкторія руху кулі є прямою лінією; б) відносно Землі траєкторія руху кулі є кривою лінією

екторією падіння кулі є *пряма лінія*, тобто рух кулі відносно платформи є *прямолінійним* (рис. 40, а). Для спостерігача  $C_2$ , нерухомого відносно Землі, траєкторія руху кулі буде мати форму кривої лінії, а, отже, рух кулі відносно Землі буде *криволінійним* (рис. 40, б). Таким чином, форма траєкторії має *відносний* характер: не можна говорити про форму траєкторії взагалі — може йтися лише про форму траєкторії *відносно певної системи відліку*.

**2. Шлях.** Знаючи траєкторію, можна визначити всі положення, які займало тіло при русі. Але для описання руху цього недостатньо: необхідно знати, *у якій саме точці* на траєкторії знаходилося тіло через певний проміжок часу. А для цього треба виміряти *довжину траєкторії*, по якій рухалося тіло впродовж цього часу.

*Відстань, пройдену тілом (матеріальною точкою) уздовж траєкторії руху, називають шляхом* (рис. 41).

Найчастіше шлях позначають літерою  $l$  (або  $s$ ). Одиницею шляху в СІ є метр (1 м). Часто використовують також й інші одиниці довжини: кілометр (1 км), сантиметр (1 см), міліметр (1 мм):

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м};$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м};$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}.$$

**3. Переміщення.** Коли тіло рухається заданою траєкторією в певному напрямі й відомо його початкове положення, то за довжиною пройденого шляху можна визначити положення цього тіла у довільний момент часу. Для цього від початкового положення тіла у напрямі руху вздовж траєк-



**Рис. 41.** Характеристики руху: траєкторія (крива лінія зі стрілочками), пройдений шлях  $l$  і переміщення  $\vec{s}$  матеріальної точки

торії відкладають довжину шляху, що дозволяє встановити місцезнаходження тіла у даний момент часу.

Коли ж траєкторія руху не задана, то за довжиною пройденого шляху не можна визначити положення матеріальної точки в даний момент часу. Зокрема, не можливо визначити місцезнаходження автомобіля, якщо відомо лише, що він виїхав з Києва у Бердянськ і проїхав 400 км, оскільки автомобіль може рухатись різними автомобільними шляхами (рис. 42). У такому випадку для описання руху користуються іншою фізичною величиною, яка характеризує зміну положення тіла (або матеріальної точки) в просторі за певний проміжок часу. Таку величину називають *переміщенням*.

*Переміщення* — це напрямлений відрізок прямої, який з'єднує початкове і кінцеве положення тіла, що рухалося. Переміщення позначають літерою  $\vec{s}$  зі стрілочкою. На рисунку 41 відрізок  $AB$  — це переміщення  $\vec{s}$  матеріальної точки під час її руху з початкового положення  $A$  в кінцеве положення  $B$ .

Застосування фізичної величини з таким символом, як стрілка, вказує на те, що ця величина характеризується не лише числовим значенням, але й *напрямом* у просторі. Такі величини називаються *векторними*. Отже, *переміщення* — це величина векторна.

Розглянемо приклад. Нехай за допомогою крану піднімають вантаж з положення  $A$  у положення  $A'$  (рис. 43). Цю операцію кранівник може виконати різними способами: перемістити вантаж із положення  $A$  у положення  $B$ , а з нього у кінцеву точку переміщення — положення  $A'$ ; можливий і такий



Рис. 42. Від одного міста України до іншого можна рухатися різними автомобільними шляхами

*Фізичні величини, що характеризуються напрямом у просторі, називаються векторними*

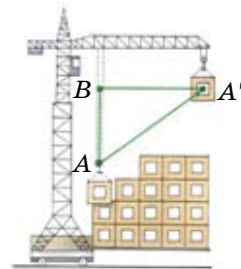


Рис. 43. Переміщення вантажу за допомогою крану



**Рис. 44.** Переміщення, шляхи і траєкторії руху з м. Ялти до м. Феодосія

варіант — одночасне переміщення вантажу у вертикальному і горизонтальному напрямках —  $AA'$ .

В обох випадках кінцевий результат цього руху характеризуватиме напрямлений відрізок  $AA'$ . Це і є *переміщення* вантажу.

Слід розрізняти поняття шляху і переміщення. Шлях — це фізична величина, яка не має напрямку. Фізичні величини, які не мають напрямку, називають *скалярними*.

Розглянемо приклад. Скажімо, із Ялти до Феодосії можна дістатись автомобілем вздовж шосе або морем на теплоході (рис. 44). Зрозуміло, що траєкторії (і, відповідно, шляхи) при цьому будуть різними, а переміщення — одним й тим самим, при цьому воно однозначно характеризуватиме і напрям руху, і найкоротшу відстань між початковою та кінцевою точками цього маршруту.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Наведіть приклади прямолінійних та криволінійних рухів і для кожного випадку вкажіть тіло відліку.
2. Що називається шляхом? Чому шлях називають скалярною величиною?
3. Що називають переміщенням? Чому переміщення називають векторною величиною?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 6.

1. У яких випадках переміщення співпадає з пройденим шляхом? Що спільного у цих фізичних величин? У чому полягають їх відмінності?
2. Пішохід пройшов прямою алеєю парку 40 м до перетину її з другою алеєю, перпендикулярною до першої. Потім він повернув на цю другу алею і пройшов нею 30 м. Намалуйте схему цього руху в обраному масштабі, вкажіть на ній шлях і переміщення пішохода та визначте їх значення.

## § 7. ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОМІРНИЙ РУХ. ШВИДКІСТЬ

**1. Прямолінійний рівномірний рух.** Серед безлічі різноманітних рухів виділяють рух уздовж прямої, а серед усіх прямолінійних рухів — *рівномірний рух*. Цей рух є найпростішим.

*Прямолінійним рівномірним рухом називають такий рух, у якому тіло рухається вздовж прямої лінії і за будь-які рівні проміжки часу проходить однакові шляхи.*

Якщо, наприклад, автомобіль на прямолінійній ділянці шляху рухався так, що за кожну годину проходив 60 км;

за кожні  $1/2$  години — 30 км;

за кожні  $1/4$  години — 15 км;

за кожні  $1/8$  години — 7,5 км, то рух автомобіля на цій ділянці був *рівномірним*.

Розглянемо рух моделі автомобіля вздовж демонстраційного стола (рис. 45). Інтервал часу відзначатимемо за ударами метронома. Запустимо метроном (рис. 46) й за одним із його ударів увімкнемо двигун моделі. В такт із кожним наступним ударом метронома на горизонтальній кромці стола крейдою будемо позначати положення автомобіля (наприклад, за положеннями його задніх коліс). Якщо дослід покаже, що за будь-які однакові інтервали часу модель проходила однакові відрізки шляху, то рух такої моделі є *рівномірним*.

З рис. 45 також видно, що *при прямолінійному русі шлях дорівнюватиме переміщенню*.

**2. Швидкість.** Для характеристики особливостей того чи іншого руху вводять

*Прямолінійний рівномірний рух – найпростіший вид механічного руху*



Рис. 45. Приклад спостереження прямолінійного рівномірного руху



Рис. 46. Метроном — прилад для відліку однакових проміжків часу за ударами молоточка

*У різних прямолінійних рівномірних рухах переміщення тіл за однакові проміжки часу можуть бути різними*

відповідні величини. Так, геометричними (просторовими) характеристиками руху є *траєкторія, переміщення, шлях*. Проте ці характеристики не дозволяють у повній мірі описати рух. Рівномірні прямолінійні рухи різних тіл можуть відрізнятися *швидкістю руху*. Дійсно, за однакових умов руху на шосе мотоцикліст рухається значно швидше (стрімкіше) за велосипедиста, а пішохід рухається повільніше за велосипедиста та мотоцикліста. Для кількісної характеристики відмінностей між прямолінійними рівномірними рухами вводять таку фізичну величину, як *швидкість*.

*Швидкістю рівномірного руху називають фізичну величину, що чисельно дорівнює відношенню шляху, який проходить тіло, до часу, за який цей шлях пройдено:*

$$\text{швидкість} = \frac{\text{шлях}}{\text{час}} \text{ або } v = \frac{l}{t},$$

де  $v$  — швидкість руху;  $l$  — шлях, пройденим тілом;  $t$  — час, за який цей шлях пройдено.

**3. Одиниці швидкості.** За одиницю швидкості в СІ приймають *метр за секунду*

$$\left(1 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right).$$

$1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — це швидкість такого рівномірного руху, при якому тіло, що рухається, за 1 с проходить відстань 1 м.

У процесі рухів тіла можуть набувати різних швидкостей. З окремими прикладами швидкостей ви можете ознайомитись у рубриці «Поглибте свої знання» (§ 9). Про-

*Одиницю фізичної величини позначають літерою, взятою у квадратні дужки. Тоді одиниця швидкості запишеться так:*

$$[v] = \frac{1 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$



те існує швидкість, якої не може досягти жодне тіло у природі — це швидкість світла у вакуумі (наближено можна вважати, що й у повітрі). За допомогою сучасних методів вимірювання встановлено, що *швидкість поширення світла у вакуумі дорівнює приблизно 300 000 000 м/с*. Вона позначається маленькою літерою *c* латинського алфавіту:

$$c = 300\,000\,000 \text{ м/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

*Швидкість світла є найбільшою в природі.*

**4. Напрямок швидкості.** Швидкість характеризується не лише числовим значенням, але й напрямом. У випадку рівномірного прямолінійного руху напрям швидкості співпадає з напрямом руху тіла. На рисунках і схемах швидкості зображають стрілками, які показують напрям швидкості. Довжина стрілки в певному масштабі визначає числове значення швидкості.

Отже, *швидкість — це величина векторна* ( $\vec{v}$ ).

**5. Розрахунок значення швидкості і знаходження її напрямку.**

**Задача.** Автомобіль, рухаючись прямолінійно і рівномірно у західному напрямі, за 15 хв подолав шлях у 18 км. З якою швидкістю рухався автомобіль? Виразити цю швидкість у метрах за секунду та зобразити графічно.

Дано:

$$t = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с}$$

$$l = 18 \text{ км} = 18\,000 \text{ м}$$

$v$  — ?

Розв'язання

$$\text{Відомо, що } v = \frac{l}{t}. \text{ Тому } v = \frac{18\,000 \text{ м}}{900 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

*Кратні й дільні одиниці швидкості:*

$$1 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 1000 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0,001 \frac{\text{км}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 \frac{\text{км}}{\text{с}} \approx 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

*Відстань від Сонця до Землі (150 млн. км) світло проходить за 8 хвилин 15 секунд*

*Запис швидкості  $v$  (без стрілки) означає, що мається на увазі модуль швидкості, тобто її числове значення*



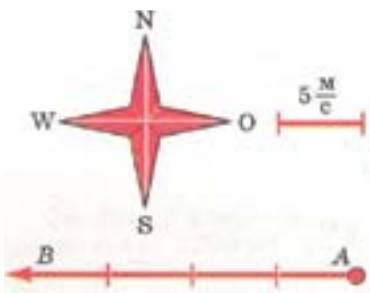


Рис. 47. До задачі про графічне зображення швидкості руху автомобіля

Для графічного зображення швидкості виконаємо такі дії (рис. 47):

- визначимо на папері напрям схід-захід;
- позначимо рухоме тіло точкою  $A$  і від неї проведемо відрізок у напрямі схід-захід;
- оберемо масштаб: відрізок довжиною 1 см відповідатиме швидкості у  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;
- відкладемо на зображеному відрізку чотири відрізки по 1 см і поставимо стрілку у напрямі руху точки  $A$ .

Відрізок  $AB$  показує напрям швидкості автомобіля (на захід).

*Відповідь:* швидкість руху автомобіля чисельно дорівнює  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; графічно швидкість зображена як напрямлений відрізок  $AB$  (рис. 47).



Рис. 48. Автомобільний спідометр та лічильник кілометрів

*Спідометр — від англійського слова speed — швидкість та латинського metreo — вимірюю*

## 6. Прилади для вимірювання швидкості.

Для вимірювання швидкості створені спеціальні прилади, які встановлюють на транспортних засобах — автомобілях, мотоциклах, велосипедах, літаках тощо. Найпростіший з них — автомобільний *спідометр*. Автомобільний спідометр зображено на рис. 48. Він показує значення швидкості в даний момент часу. *Швидкість тіла в даний момент часу називають миттєвою швидкістю.*

Автомобільний спідометр як технічний пристрій є поєднанням двох вимірювальних приладів: власне спідометра і лічильника кілометрів, який вимірює пройдений автомобілем шлях уздовж траєкторії його руху.

## ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Відносність швидкості

Швидкість і шлях — величини відносні; їх значення залежить від вибору системи відліку.

Нехай, наприклад, на рухомій баржі знаходиться нерухомий пасажир  $C_1$ , який спостерігає за рухом матроса і встановлює, що відстань у 60 метрів з корми до носової частини матрос долає за одну хвилину (рис. 49, а).

Тоді за розрахунками нерухомого спостерігача  $C_1$  швидкість матроса відносно баржі дорівнює:

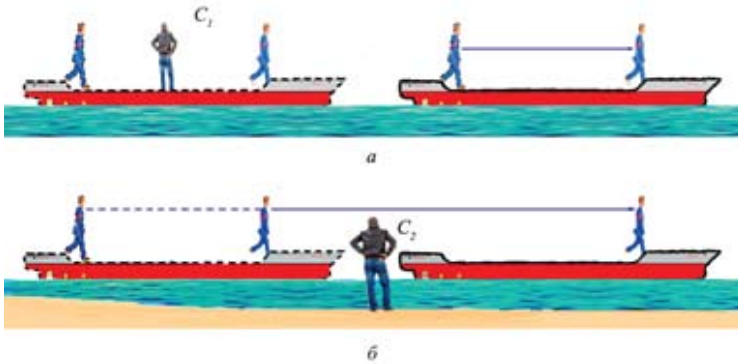


Рис. 49. До прикладу про відносність руху баржі і матроса

$$v = \frac{60 \text{ м}}{60 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

У той же час спостерігач  $C_2$ , який знаходиться на березі річки і відносно якого баржа є рухомою (рис. 49, б), визначить, що за час проходження матросом палубою відстані 60 м, баржа змістилася вздовж берега річки ще на 120 м. Тому відносно спостерігача  $C_2$  шлях, пройдений матросом за цей час, становить  $60 \text{ м} + 120 \text{ м} = 180 \text{ м}$ , а його швидкість відносно берега

$$v = \frac{180 \text{ м}}{60 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Наведений приклад дозволяє зробити висновок: *шлях і швидкість руху є відносними — вони залежать від вибору системи відліку.*



Рис. 50. GPS-спідометр

### Фізичне знання в техніці

Історично першим спідометром є механічний — він приводиться в рух спеціальним тросом, з'єднаним з ходовою частиною автомобіля. Недоліком таких спідометрів є залежність показів від зношування тросу та деталей ходової частини. Наступним кроком розробників стали електронні спідометри, у яких покази довжини пробігу та температури виводяться на рідкокристалічний дисплей. Швидкість у таких спідометрах показує стрілка, яка керується електронікою, що дозволяє підвищити точність показів спідометра. І, нарешті, найсучасніший спідометр — це спідометр, під'єднаний до системи супутникової навігації (GPS), призначеної для визначення географічних координат, точного часу, а також швидкості і напрямку руху. Такий спідометр є найкращим контролером швидкісного режиму та витрат палива (рис. 50).

### Подумайте і дайте відповідь

1. Який рух називається прямолінійним рівномірним?
2. Наведіть приклади рухів, які наближено можна віднести до прямолінійних рівномірних.
3. Яку фізичну величину називають швидкістю рівномірного руху? В яких одиницях вона вимірюється? Назвіть кратні й дільні одиниці швидкості.
4. Якою величиною є швидкість: векторною чи скалярною? Дайте пояснення.
5. За допомогою яких приладів вимірюють швидкість?
6. Для чого призначений автомобільний спідометр? Яку швидкість він вимірює?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 7.

1. Поясніть, чому в означенні прямолінійного рівномірного руху не можна уникнути слова «будь-які» по відношенню до однакових проміжків часу.
2. З'ясуйте, яка швидкість більша: 1 м/с чи 1 км/год.
3. Визначте швидкість поширення звуку в повітрі, якщо звук пострілу, зробленого на відстані 3,4 км від спостерігача, почуто ним через 10 с.
4. Туристичний автобус виїхав з Києва у Херсон і протягом 8 год рівномірно і прямолінійно рухався Одеською трасою зі швидкістю 60 км/год. Потім він повернув ліворуч на трасу, перпендикулярну до початкового напрямку руху, і проїхав ще 210 км до Херсона за 3 год, рухаючись рівномірно і прямолінійно. Визначте: а) який шлях проїхав автобус? б) з якою швидкістю він рухався на другій ділянці шляху? в) яка найкоротша відстань від Києва до Херсона?

## § 8. РІВНЯННЯ РУХУ. ГРАФІКИ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ

**1. Рівняння рівномірного прямолінійного руху.** У попередньому параграфі нами була отримана формула для обчислення швидкості  $v = \frac{l}{t}$ , яка виражає співвідношення між характеристиками руху. Виконуючи математичні дії, з неї можна отримати формулу шляху:  $l = v \cdot t$ . Цю формулу називають *рівнянням руху*, оскільки вона вказує на *залежність шляху*, пройденого тілом, *від часу*.

**2. Графічне подання прямолінійного рівномірного руху.** У більшості задач кінематики залежність одної величини від іншої зручно записувати не у вигляді формул, а *зображати за допомогою графіків*. Покажемо це на конкретних прикладах.

**Задача 1.** Моторний човен рухається у стоячій воді прямолінійно рівномірно. Спідометр човна показує швидкість  $36 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Який шлях пройде човен за 20 хвилин? Побудувати графік шляху човна.

Дано:

$$v = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

$l = ?$

Розв'язання

Шлях, пройдений човном, розраховується за формулою

$$l = v \cdot t, \text{ тоді } l = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1200 \text{ с} = 12\,000 \text{ м} = 12 \text{ км.}$$

**Відповідь:** човен пройде шлях 12 км.

Тепер побудуємо *графік шляху човна* (графік залежності шляху, пройденого човном, від часу). Для цього скористаємося прямо-

*Для повного описання механічного руху необхідно знати його траєкторію та залежність довжини шляху, пройденого тілом, від проміжку часу, який був на це витрачений*

*Графічне описання руху більш наочно показує характер зміни величин, що характеризують рух, а також полегшує їх визначення*

Для обчислення шляху, пройденого човном за певні проміжки часу, використовуємо рівняння руху:  $l = v \cdot t$

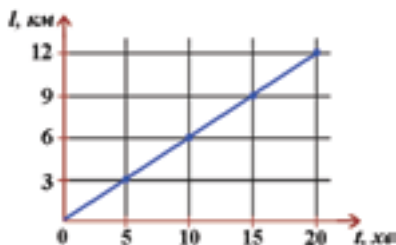


Рис. 51. Графік шляху човна

Графіком шляху рівномірного прямолінійного руху є пряма лінія

**Примітка.** Графік шляху не можна плутати з траєкторією руху: він лише відображає залежність шляху, пройденого човном, від часу руху.

За допомогою графіків задачі про рухи можна розв'язувати графічно, без виконання математичних обчислень

Дано:

$$v = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

$l = ?$

кутною декартовою системою координат, яка відома вам з математики. Вважатимемо, що у початковий момент часу човен перебував у початку координат. Обчислимо шлях, пройдений човном, за 5 хвилин; 10 хвилин; 15 хвилин і 20 хвилин. Отримані значення шляху запишемо у таблицю 5.

Результати обчислення шляху, пройденого тілом за певні проміжки часу

Таблиця 5

$t$ , хв	0	5	10	15	20
$l$ , км	0	3	6	9	12

Зобразимо на папері систему координат і в певному масштабі відкладемо на осі абсцис час  $t$ , а на осі ординат — пройдений шлях  $l$  (рис. 51). Сполучивши точки, які відповідають значенню пройденого шляху за відповідний час, отримаємо графік руху човна. Цим графіком є *пряма лінія*.

Отриманий графік шляху човна дозволяє без розрахунків визначити шлях, пройдений човном за будь-який час. Наприклад, з графіка можна дізнатися, що за 10 хвилин човен проходить шлях 6 км, а через кожні 5 хвилин пройдений човном шлях збільшується на 3 км та інше.

**Задача 2.** Швидкісний човен (глісер) рухається у стоячій воді зі швидкістю 54 км/год. Який шлях пройде глісер за 20 хвилин? Побудувати графік шляху глісера.

Розв'язання

Шлях, пройдений глісером, розраховується за формулою

$$l = v \cdot t, \text{ тоді } l = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1200 \text{ с} = 12\,000 \text{ м} = 12 \text{ км}.$$

**Відповідь:** глісер пройде шлях 18 км.

Побудуємо графік шляху глісера у тих самих масштабах шляху і часу та з використанням такої самої послідовності дій, що й у попередній задачі (рис. 52).

Важливим завданням при аналізуванні графіків є їх порівняння — це дозволяє робити висновки про спільні властивості рухів або відмінності у характері рухів. Порівнювати різні рухи за їх графіками особливо зручно тоді, коли графіки виконані на одному рисунку та в одному і тому самому масштабі. Порівняємо графіки шляху човна і глісера. Для цього побудуємо їх в одній системі координат (рис. 53). Графіки дозволяють повністю описати рух човна і глісера. Зокрема, можна графічно визначити, що човен проходить шлях 9 км за 15 хв, а глісер — за 10 хв. Виконуючи додаткові побудови, можна встановити відстані, які проходять човен і глісер за однаковий проміжок часу або за будь-який час.

Аналізуючи графіки, можна зробити важливий висновок: графік шляху глісера, який має більшу швидкість — крутіший. Таким чином, за нахилом графіків шляху різних тіл можна оцінити, яке з цих тіл має більшу швидкість.

Отже, подання графіків шляху різних тіл на одному рисунку дозволяє більш детально порівнювати рухи цих тіл і робити певні висновки.

#### Висловіть свою думку

Які додаткові висновки зробили б ви, аналізуючи графіки шляху різних тіл?

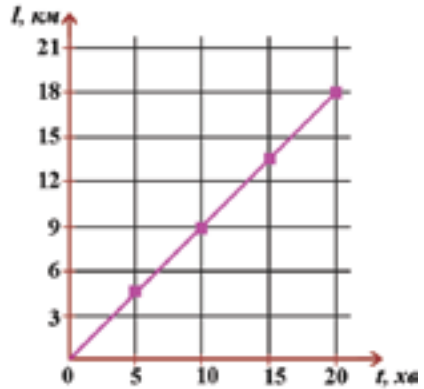


Рис. 52. Графік шляху глісера

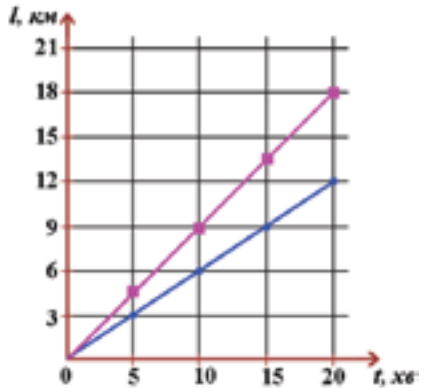


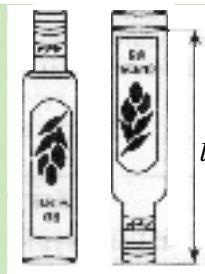
Рис. 53. Графіки шляху човна і глісера

*Кут нахилу графіку шляху до осі часу характеризує швидкість тіла: чим більший кут нахилу, тим більшою є швидкість руху*



### Домашнє експериментальне завдання

Дослідіть один з видів рівномірного руху — рух бульбашок повітря в олії. Для цього візьміть закриту кришкою пляшку з олією, переверніть її, розташуйте на столі вертикально та спостерігайте рівномірний рух бульбашок повітря. Виміряйте висоту шару олії — це шлях  $l$ , який проходить бульбашка (рис. 54). Поставте пляшку у вихідне положення, потім знов переверніть пляшку та одночасно увімкніть секундомір. Визначте час  $t$ , за який велика бульбашка повітря підніметься на поверхню олії. За значеннями  $l$  і  $t$  визначте швидкість рівномірного руху *великої* бульбашки в олії. Аналогічно визначте швидкість рівномірного руху *малої* бульбашки повітря в олії. За одержаними результатами побудуйте графіки рівномірного руху великої і малої бульбашок. Порівняйте швидкості руху бульбашок та зробіть висновки. Хід та результати експерименту запишіть у робочий зошит.



**Рис. 54.** До експериментального завдання про дослідження рівномірного руху бульбашок повітря в олії

### Подумайте і дайте відповідь

1. Як визначити шлях, пройдений тілом, якщо відомі його швидкість і час руху? Що таке рівняння руху?
2. Для чого будують графіки механічних рухів?
3. Чому графіки шляхів різних тіл доцільно зображати на одному й тому самому рисунку? Що характеризує кут нахилу графіку шляху до осі часу?
5. За графіками шляху човна і глісера (рис. 53) визначте і порівняйте відстані, які вони проходять за 8 хв; 12 хв; 18 хв.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 8.

1. Користуючись графіками шляху човна і глісера, доведіть, що швидкість кожного з цих рухів є сталою.
2. Запишіть рівняння прямолінійного рівномірного руху. Залежність між якими характеристиками руху воно встановлює? Вигляд якої лінії має графік шляху такого руху?
3. Побудуйте графіки шляхів прямолінійних рівномірних рухів упродовж 5 с для випадків: а)  $v = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; б)  $v = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

## § 9. НЕРІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ

Проаналізуйте рухи, які ви спостерігаєте навколо себе. Ви зможете впевнитися у тому, що рівномірні прямолінійні рухи відбуваються дуже рідко. Так, швидкість руху автомобіля на початку руху збільшується, потім протягом деякого часу може бути сталою, а під час зупинки — зменшується.

*Рух тіла зі змінною швидкістю називається нерівномірним.*

Отже, при нерівномірному русі не можна говорити про яку-небудь певну швидкість,

оскільки відношення  $\frac{l}{t}$  не є однаковим для різних ділянок шляху (як у випадку рівномірного руху). Тому *при нерівномірному русі зручно розглядати рух на окремих ділянках шляху*. Для характеристики нерівномірного руху в межах певної ділянки шляху використовують таку фізичну величину, як *середня швидкість* ( $v_c$ ).

*Середньою швидкістю нерівномірного руху на даній ділянці шляху називають фізичну величину, яка чисельно визначається відношенням довжини цієї ділянки до проміжку часу, за який ця ділянка пройдена:*

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

де  $l$  — шлях, пройдений тілом при нерівномірному русі на даній ділянці,  $t$  — час руху.

У вас може виникнути запитання: а чим ця формула відрізняється від формули швидкості для рівномірного прямоліній-

*Більшість рухів у природі відбуваються зі змінними швидкостями*

*Під час нерівномірного руху тіло за будь-які рівні проміжки часу проходить різні шляхи*

*У загальному випадку середня швидкість — величина векторна ( $\vec{v}_c$ ), а її напрям на даній ділянці шляху співпадає з напрямом переміщення*

При нерівномірному

русі формула  $v_c = \frac{l}{t}$

визначає середню швидкість на певній ділянці шляху, для якої вона визначена

ного руху? Пояснюємо: при нерівномірному русі наведена формула визначає середню швидкість лише на певній ділянці шляху, для якої вона визначена. У випадку ж рівномірного руху ця формула визначає швидкість на всьому шляху.

Знаючи середню швидкість нерівномірного руху, можна розрахувати шлях, пройдений тілом за даний проміжок часу, а також час руху:

$$l = v_c \cdot t; \quad t = \frac{l}{v_c}.$$

Формула  $l = v_c \cdot t$  вказує на залежність пройденого шляху від часу. Тому цей вираз є рівнянням нерівномірного прямолінійного руху.

Користуватися формулами  $l = v_c \cdot t$  та  $t = \frac{l}{v_c}$  можна лише для тієї певної ділянки шляху і для того проміжку часу, для яких ця середня швидкість визначена.

Наприклад, знаючи середню швидкість руху автобуса між двома зупинками та довжину відстані між ними, можна розрахувати час, за який автобус проїде цю відстань. Але при цьому не можна визначити час, за який автобус проїде половину відстані між цими зупинками, оскільки середня швидкість на половині ділянки шляху при нерівномірному русі не дорівнюватиме середній швидкості на всій ділянці шляху.

Якщо відомо, що при нерівномірному прямолінійному русі за час  $t_1$  тіло пройшло шлях  $l_1$ , а за час  $t_2$  — шлях  $l_2$ , то середня швидкість обчислюється за формулою:

Середня швидкість, визначена на декількох ділянках шляху, дає лише наближене поняття про характер руху

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Нерівномірний прямолінійний рух теж можна подати графічно. Розглянемо це на прикладі.

**Задача 1.** Рухаючись прямолінійно, учень першу ділянку шляху довжиною 40 м і другу ділянку шляху довжиною 30 м пройшов за однакові проміжки часу по 2 хв. Визначте середню швидкість руху учня до школи. Побудуйте графік шляху учня.

**Дано:**

$$l_1 = 40 \text{ м}$$

$$l_2 = 30 \text{ м}$$

$$t_1 = t_2 =$$

$$= 2 \text{ хв} = 120 \text{ с}$$

$$v_c = ?$$

**Розв'язання**

За означенням середньої швидкості

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}, \text{ тоді } v_c = \frac{40 \text{ м} + 30 \text{ м}}{120 \text{ с} + 120 \text{ с}} = \frac{70 \text{ м}}{240 \text{ с}} \approx 0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**Відповідь:** середня швидкість учня дорівнює  $0,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Побудуємо графік шляху нерівномірного руху учня (рис. 55).

Бачимо, що графіком шляху нерівномірного руху учня до школи є *ламана лінія*. Така форма графіка шляху у нерівномірному русі зумовлена характером цього руху (за однакові проміжки часу тіло проходить різні шляхи).

### Висловіть свою думку

Чи можна обчислити середню швидкість нерівномірного руху на всьому шляху як середнє арифметичне середніх швидкостей на окремих ділянках шляху?

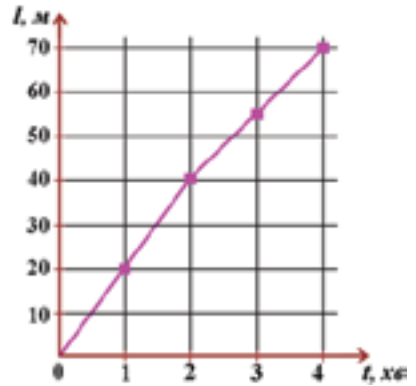


Рис. 55. Графік шляху нерівномірного руху учня до школи

## ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Швидкості в природі і техніці



Під час кипіння молекули води рухаються зі швидкістю  $650 \text{ м/с}$



Швидкість у  $322 \text{ км/год}$  розвиває сапсан під час полювання за здобиччю. Це найбільша швидкість у тваринному світі



Найповільнішим ссавцем є трипалий лінивець, що за хвилину долає менше  $2 \text{ м}$



Пасажирський потяг «Хундай» на залізничній станції у м. Києві. Він розвиває швидкість  $150 \text{ км/год}$  і більше



Рекорд швидкості руху іграшкового потягу близько  $10 \text{ км/год}$



Найбільша швидкість, досягнута людиною становить  $39\,897 \text{ км/год}$ . Таку швидкість розвинув космічний корабель «Аполлон 10» на висоті  $122 \text{ км}$  від Землі під час повернення астронавтів на рідну планету

Рис. 56. Швидкості в природі і техніці

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Який рух називають нерівномірним? Наведіть приклади нерівномірних рухів.
2. Для чого вводиться така фізична величина, як середня швидкість нерівномірного руху?
3. За якою формулою визначають середню швидкість нерівномірного руху?
4. Як обчислюють шлях при нерівномірному русі та час руху, якщо відома середня швидкість руху?
5. Який вигляд має графік шляху нерівномірного прямолінійного руху?
6. Користуючись графіком на рис. 55, доведіть, що графік шляху не співпадає з його траєкторією.

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 9.**

1. У процесі дослідження руху виявилось, що середня швидкість на будь-яких ділянках шляху є однаковою. Що можна сказати про характер руху? Відповідь обґрунтуйте.
2. Зобразіть графік шляху нерівномірного прямолінійного руху і поясніть його форму.
3. Обґрунтуйте, що формула  $l = v_c \cdot t$  є рівнянням нерівномірного прямолінійного руху.
4. Мотоцикліст за перші дві години проїхав 90 км, а наступні три години рухався зі швидкістю  $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Визначте середню швидкість мотоцикліста на всьому шляху.
5. Хлопець рухався прямолінійно з одного села в інше. Першу половину шляху він проїхав на візку із середньою швидкістю  $6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а другу пройшов пішки зі швидкістю  $2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Визначте середню швидкість руху хлопця.
- 6.\* Автомобіль протягом першої години руху їхав зі швидкістю  $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , другої години —  $70 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  і третьої години —  $80 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Оберіть масштаб і побудуйте графік залежності шляху автомобіля від часу його руху.



## § 10. ГРАФІК ШВИДКОСТІ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ. РІВНЯННЯ І ГРАФІКИ НЕРІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ

*Графік швидкості можна побудувати за двома точками, оскільки це найменше число точок, через які можна провести одну задану пряму*

*У тому випадку, коли рух тіла відбувається в напрямі, протилежному до напрямку осі координат, графік швидкості розташовується нижче осі часу*

**1. Побудова графіка швидкості рівномірного прямолінійного руху.** У § 8 ви навчилися будувати графіки шляху рівномірного прямолінійного руху, які виражають залежність шляху, пройденого тілом, від часу руху. А як графічно зобразити швидкість? Ознайомимося з новим видом графічного описання механічного руху — *графіком швидкості*.

*Графік швидкості* — це графічне подання залежності швидкості руху від часу.

Для побудови графіка швидкості аналогічно до побудови графіку шляху використовують прямокутну декартову систему координат. На осі абсцис відкладають у певному масштабі час, а на осі ординат — швидкість. Оскільки у рівномірному русі швидкість є величиною сталою, то очевидно, що *графік швидкості являтиме собою пряму, паралельну до осі часу* (рис. 57). На цьому рисунку побудовано графіки швидкостей чотирьох рівномірних рухів зі швидкостями:  $v_1 = -3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v_2 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v_3 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $v_4 = 7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Швидкості  $v_2$ ,  $v_3$  і  $v_4$  є додатними. Швидкість  $v_1$  — від’ємна. Від’ємне значення швидкості означає, що тіло рухається у від’ємному напрямі осі координат (в даному разі у напрямі, протилежному до напрямку осі ординат).

За допомогою графіка швидкості можна графічно зобразити шлях, пройдений тілом, та визначити цей шлях. Пояснимо це. Ви вже знаєте, що шлях визначається добутком швидкості на час руху:  $l = v \cdot t$ . З іншого боку, на графіку швидкості добуток  $v \cdot t$  чисельно дорівнює площі прямокутника, сторонами якого є осі координат, графік швидкості та відрізок ординати, що відповідає часу руху. Отже, *шлях на графіку швидкості являє собою площу прямокутника*.

На рис. 57 зафарбовано площі прямокутників, кожна з яких чисельно дорівнює шляху, пройденому тілом зі швидкостями —  $v_1$  і  $v_2$ .

**2. Рівняння і графіки нерівномірного прямолінійного руху.** Як ви вже знаєте з § 9, вираз  $l = v_c \cdot t$  є рівнянням нерівномірного руху. Аналогічно до побудови графіків рівномірного прямолінійного руху, можна побудувати й графіки нерівномірного прямолінійного руху — *графік шляху* та *графік середньої швидкості*. Розглянемо це на прикладі розв'язання задачі.

**Задача.** Велосипедист рухався прямолінійно з одного пункту в інший. Першу половину часу він їхав зі швидкістю  $9 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а другу половину часу йшов пішки, тримаючи велосипед, зі швидкістю  $3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  (рис. 58). Визначити середню швидкість руху велосипедиста. Побудувати: а) графік швидкості; б) графік шляху при умові, що  $t_1 = t_2 = \frac{t}{2} = 1$  год.

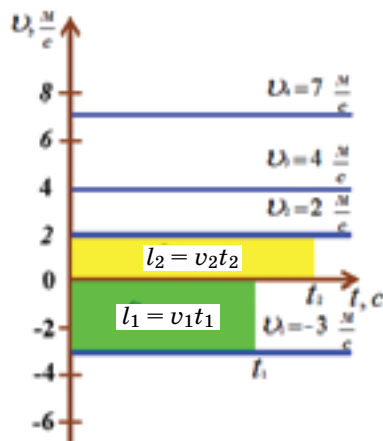


Рис. 57. Графіки швидкостей рівномірних прямолінійних рухів

*Графіки нерівномірного руху широко використовуються на практиці. Зокрема, на залізничному транспорті графіки швидкості руху потягів дозволяють одержати важливу інформацію для покращення роботи залізниці і попередження аварійних ситуацій*

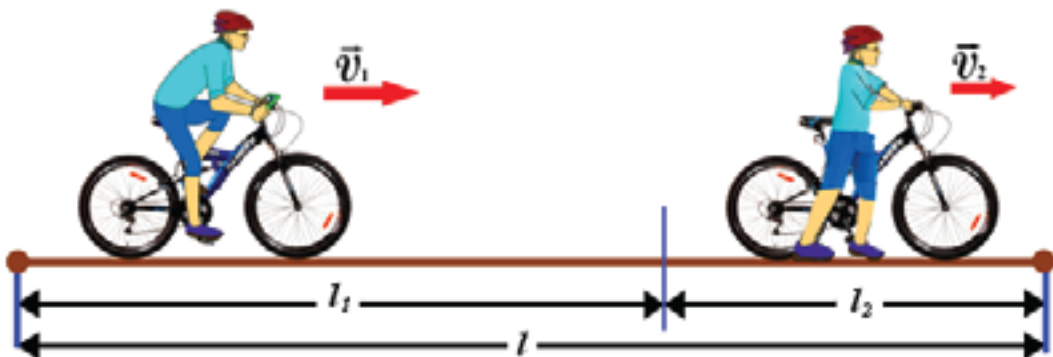


Рис. 58. До задачі про прямолінійний нерівномірний рух велосипедиста

*Дано:*

$$v_1 = 9 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_2 = 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$t_1 = t_2 = \frac{t}{2} = 1 \text{ год}$$

 $v_c$  — ?*Розв'язання*

Пов'яжемо систему відліку з дорогою. Рух велосипедиста є нерівномірним, оскільки на різних ділянках шляху він рухався з різними швидкостями.

Рівняння руху на окремих ділянках шляху матимуть вигляд:  $l_1 = v_1 \cdot t_1$  та  $l_2 = v_2 \cdot t_2$ .

За умовою задачі,  $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$ , де  $t$  — загальний час руху.

За означенням,  $v_c = \frac{l}{t}$ . Отже, для знаходження середньої швидкості треба знайти шлях, пройдений велосипедистом за весь час руху. Він дорівнюватиме:

$$l = l_1 + l_2 = v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2 = v_1 \cdot \frac{t}{2} + v_2 \cdot \frac{t}{2} = \frac{t}{2}(v_1 + v_2).$$

Підставимо знайдений вираз у формулу середньої швидкості:

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{\frac{t}{2}(v_1 + v_2)}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

Виконаємо обчислення: 
$$v_c = \frac{9 \frac{\text{км}}{\text{год}} + 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}}{2} = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

*Відповідь:* середня швидкість руху велосипедиста дорівнює  $6 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$

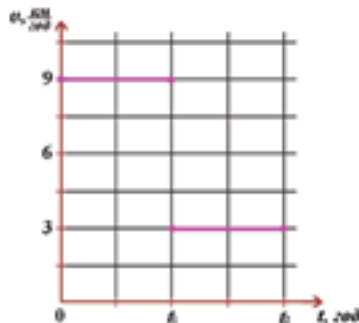
Побудуємо *графік швидкості* (рис. 59, а) і *графік шляху* велосипедиста (рис. 59, б).

З рисунку 59,а видно, що графік швидкості нерівномірного прямолінійного руху велосипедиста в межах кожного проміжку часу зображається відрізком, паралельним до осі часу. В межах кожного проміжку часу ми вважаємо швидкість велосипедиста сталою.

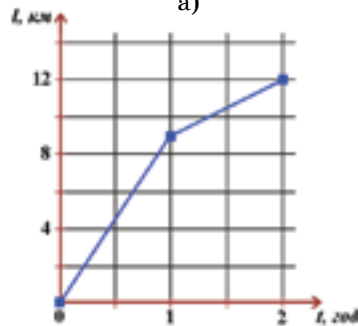
Графіком шляху нерівномірного прямолінійного руху велосипедиста є ламана лінія (рис. 59, б).

Важливо, що, маючи *графік швидкості тіла, можна побудувати графік шляху*, і навпаки: *за графіком шляху можна побудувати графік швидкості тіла*.

Таким чином, побудова і використання графіків швидкості і шляху рівномірного і нерівномірного прямолінійних рухів є ефективним способом не лише практичного застосування знань, але й отримання нових відомостей про певні рухи.



а)



б)

**Рис. 59.** Графіки руху велосипедиста: а) графік швидкості; б) графік шляху

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке графік швидкості? Який вигляд має графік швидкості рівномірного руху?
2. Який вигляд при нерівномірному прямолінійному русі має графік швидкості? графік шляху?
3. Користуючись графіком на рис. 57, визначте шляхи, пройдені тілом у рівномірному прямолінійному русі зі швидкостями  $v_1 = -3 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_2 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

**Розв'яжіть задачі і оцініть результати**

**Вправа 10.**

1. Побудуйте графіки швидкості і шляху для випадків: а)  $v = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; б)  $v = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
2. Побудуйте графіки швидкості і шляху для випадків: а)  $v = -1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  
б)  $v = -6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; в)  $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Це треба знати**

**Як виконувати спостереження, досліді та інші експериментальні завдання**

Самостійне виконання спостережень, дослідів та інших експериментальних завдань (експериментування) є необхідною і дуже важливою складовою вивчення фізики.

Для того, щоб експериментування було успішним, необхідно:

- 1) сформулювати мету досліді (спостереження);
- 2) висунути гіпотезу про існування зв'язків між явищами, величинами і законами, що досліджуються;
- 3) чітко визначити, що саме треба зробити для перевірки гіпотези і досягнення мети досліді;
- 4) спланувати дослід, передбачити необхідні для цього прилади і матеріали, продумати методи фіксування (записування) результатів експериментування;
- 5) виконати дослідження відповідно до складеного плану;
- 6) математично обробити здобуті результати й проаналізувати їх, зокрема, на предмет точності вимірювань й достовірності;
- 7) зробити загальні висновки відповідно до мети експериментування.

*Кожний з наведених вище етапів експериментування є однаково важливим!*

Отже, орієнтуйтеся на запропонований *узагальнений план діяльності* у процесі виконання кожного експериментального завдання (спостереження, досліді). Це дозволить вам збагатити свої знання, навчитись застосовувати їх у практичній діяльності, успішно здійснювати науковий пошук.

## Навчальний проект

### Визначення середньої швидкості нерівномірного руху

*Мета проекту:* поглибити знання закономірностей і основних характеристик нерівномірного прямолінійного руху; виконуючи досліди, усвідомити суть такого фізичного спрощення, як матеріальна точка; з'ясувати відмінності траєкторії і шляху в різних системах відліку; оволодіти методами визначення середньої швидкості нерівномірного прямолінійного руху; навчитись будувати графіки швидкості і шляху нерівномірного прямолінійного руху та аналізувати їх; набуті експериментаторських умінь вимірювання часу і відстані; навчитись оцінювати похибки, допущені у процесі вимірювання.

*Знання з яких навчальних предметів будуть необхідні при роботі над проектом?*

1. Фізика. 2. Природознавство. 3. Трудове навчання. 4. Математика.

### *Орієнтовні напрями роботи над проектом* *Теоретична частина проекту*

1. Вивчення нерівномірного прямолінійного руху — важливе завдання механіки. Нерівномірні рухи в природі, техніці, побуті.
2. Миттєва швидкість — найточніша характеристика нерівномірного прямолінійного руху.
3. Відмінність між середньою і миттєвою швидкостями нерівномірного руху.
4. Обчислення шляху при нерівномірному прямолінійному русі.
5. Методи визначення середньої швидкості нерівномірного прямолінійного руху.
6. Графічне подання нерівномірного прямолінійного руху.

### *Експериментальна частина проекту*

1. Спостерігайте і опишіть нерівномірний прямолінійний рух у різних системах відліку.
2. Експериментально перевірте, чи можна, знаючи середню швидкість за певний проміжок часу, знайти шлях, пройдений тілом за будь-який час.



3. Проїдьте в автомобілі деяку відстань. Через кожну хвилину знімайте покази спідометра. Встановіть, чи можливо за цими даними визначити середню швидкість руху автомобіля. Якщо неможливо, то додатково зафіксуйте ті дані, які для цього необхідні.

4. Визначте середню швидкість вашого руху дорогою до школи та зі школи.

5. Визначте середню швидкість вашого руху велосипедом під час поїздки, яка триватиме 10 хвилин.

6. Експериментально доведіть, що середня швидкість на всьому шляху не є середнім арифметичним швидкостей тіла на різних ділянках шляху.

Запропонуйте свій варіант напрямів навчального проекту.

### ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2

#### Початковий рівень

1. Який рух можна віднести до прямолінійного рівномірного руху?
  - А Тіло рухається вздовж прямої лінії і за однакові проміжки часу проходить однакові відстані.
  - Б Тіло рухається вздовж прямої лінії і за будь-які проміжки часу проходить однакові відстані.
  - В Тіло рухається вздовж прямої лінії і за однакові проміжки часу проходить різні відстані.
  - Г Тіло рухається вздовж прямої лінії і за будь-які проміжки часу проходить різні відстані.
2. Що визначає середня швидкість при нерівномірному русі тіла?
  - А Швидкість тіла в даній точці траєкторії.
  - Б Швидкість тіла в даний момент часу.
  - В Швидкість тіла на певній ділянці шляху.
  - Г Швидкість тіла на будь-якій ділянці шляху.
3. Тіло здійснює рівномірний прямолінійний рух. Яка характеристика руху не змінюється з часом?
  - А Шлях.
  - Б Координата.
  - В Переміщення.
  - Г Швидкість.

### Середній рівень

4. Максимальна швидкість автобуса «Богдан» українського національного автовиробника дорівнює  $105 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Виразіть цю швидкість в одиницях СІ.

- А  $1,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .      Б  $29,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .      В  $17,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .      Г  $2,92 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

5. Перебуваючи на виставі у найбільшому в Україні дельфінарії «Оскар» (Запорізька обл., узбережжя Азовського моря), глядач обійшов навколо басейна зі сторонами 36 м і 18 м та повернувся у вихідну точку. Визначте шлях глядача та його переміщення.

- А 54 м; 0.      Б 108 м; 18 м.      В 18 м; 36 м.      Г 108 м; 0.

6. Чим характеризуються величини, які називаються векторними?

- А Числовим значенням і напрямом у просторі.  
Б Напрямом у просторі і довжиною.  
В Числовим значенням.  
Г Напрямом у просторі.

### Достатній рівень

7. Від якої швидкості залежить здатність автомобіля до подолання перешкоди на його шляху — середньої чи миттєвої?

- А Середньої, тому що вона визначає швидкість автомобіля на всьому шляху.  
Б Середньої, тому що вона визначає швидкість автомобіля на певній ділянці шляху.  
В Миттєвої, тому що вона визначає швидкість автомобіля в даний момент часу.  
Г Миттєвої, тому що вона визначає швидкість автомобіля за певний проміжок часу.

8. Що визначає кут нахилу графіку шляху до осі часу при прямолінійному рівномірному русі?

- А Тривалість руху. Б Швидкість руху. В Довжину шляху.  
Г Напрям руху.

**9.** Людина рухається прямолінійно. На відстані 300 м від вихідної точки руху вона повертає у протилежному напрямі, проходить ще 500 м і зупиняється. Чому дорівнюють шлях, пройдений людиною, та її переміщення?

**А** 600 м; – 200 м. **Б** 500 м; 0. **В** 800 м; 200 м. **Г** 800 м; – 200 м.

### Високий рівень

**10.** Чи можна встановити форму траєкторії руху тіла на підставі графіку його руху?

**А** Можна, тому що графік дає повне описання руху тіла.

**Б** Можна, тому що по графіку визначається положення тіла в будь-який момент часу.

**В** Не можна, тому що на графіку не відображається зміна положення тіла у просторі з плином часу.

**Г** Не можна, тому що траєкторія руху тіла залежить від вибору системи відліку.

**11.** Чи можна обчислити середню швидкість автомобіля на двох ділянках шляху як середнє арифметичне швидкостей на цих ділянках?

**А** Можна, якщо час руху на цих ділянках однаковий.

**Б** Можна, якщо довжина цих ділянок однакова.

**В** Не можна, тому що середня швидкість на різних ділянках шляху різна.

**Г** Не можна, тому що середня швидкість розраховується лише для певної ділянки шляху.

**12.** Ескалатор київського метрополітену на станції «Хрещатик» має довжину 120 м і швидкість  $0,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Якщо ескалатор не рухається, то людина піднімається по ньому за 4 хв. Визначте час, який витратить людина на підйом по рухомому ескалатору.

**А** 2,2 хв.

**Б** 1,6 хв.

**В** 3,2 хв.

**Г** 1,9 хв.

## ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Однією з комет Сонячної системи, яка періодично наближується до Землі, є комета Чурюмова-Герасименко, відкрита українськими астрономами. У якому випадку цю комету можна вважати матеріальною точкою: а) комета, роблячи петлю навколо Сонця, переміщується у нашу частину Сонячної системи; б) космічний модуль Philae («Філа») закріплюється на поверхні комети.

(Відповідь: а).

2. Швидкість обертання Землі навколо своєї осі в кожній точці на її поверхні залежить від широти місцевості. На широті м. Києва ( $52^{\circ}27'$ ) швидкість добового обертання Землі становить  $1054 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Уявляючи, що ви нерухомо сидите на стільцю, назвіть вашу швидкість на цій широті: а) відносно поверхні Землі; б) відносно земної осі.

(Відповіді: 0;  $1054 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ).

3. Довжина туристичного маршруту сходження на гору Говерла (найвища точка України) складає 4,3 км. Турист рухається із середньою швидкістю  $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Визначте, скільки годин триватиме сходження.

(Відповідь: 3 год.).

4. Обчисліть ширину найбільшого в Україні природного озера Ялпуг (Одеська область), якщо моторна яхта, яка розвиває швидкість  $10 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , перепливає це озеро за 90 хвилин.

(Відповідь: 15 км).

5. Транспортуючи багаторазовий космічний корабель «Буран» до космодрому Байконур, український літак «Мрія» перебував у польоті 4,5 год. При цьому протягом 2 год він летів зі швидкістю  $600 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а протягом 2,5 год — зі швидкістю  $520 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Визначте середню швидкість «Мрії» у польоті.

(Відповідь:  $555 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ).

# Механічний рух

## Розділ 3. МЕХАНІЧНІ РУХИ, СКЛАДНІШІ ЗА ПРЯМОЛІНІЙНИЙ

- По яких траєкторіях відбувається більшість рухів у природі і техніці?
- Для чого складні рухи подають як сукупність простих рухів?
- Чи можуть рухи точно повторюватись?
- Який рух здійснюють «Колесо огляду» та гойдалка?
- Чому важливо досліджувати рухи по колу?
- У яких механізмах використовується обертальний рух?
- Як перевірити крен баштових кранів?
- Що таке маятник Фуко і який факт він експериментально підтверджує?



## § 11. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ. ЛІНІЙНА ШВИДКІСТЬ РУХУ

**1. Криволінійний рух.** Напрямок швидкості при русі по колу. У попередньому розділі ви ознайомилися з рухами тіл вздовж прямих ліній, характеристиками цих рухів та їх графічним поданням. Але набагато частіше зустрічаються рухи, траєкторіями яких є *криві лінії*. Так рухаються автомобілі на поворотах, тіла, кинуті горизонтально або під кутом до горизонту, комети та інші космічні тіла.

*Рух, траєкторія якого має форму кривої лінії, називається криволінійним.*

Навколо нас відбувається безліч криволінійних рухів і у більшості випадків вони мають складну форму траєкторії (рис. 60).

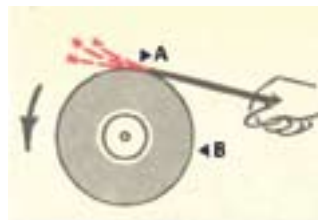
Розглянемо *найпростіший з криволінійних рухів* — *рух по коловій траєкторії*. Таким, зокрема, є рух кожної з точок твердого тіла, що обертається навколо нерухомої вісі, наприклад, точильного круга під час його роботи (рис. 61, а).

У кожній точці колової траєкторії швидкість тіла спрямована уздовж дотичної до траєкторії у цій точці. В цьому можна переконатися на досліді.

Приведемо у рух точильний круг і будемо торкатися сталним різцем до точила спочатку у точці А, розташованій у верхній частині точила, а потім у точці В — з боку точила (рис. 61, а). Побачимо, що напрям відлітання іскор (розжарених частинок) співпадає із дотичною до колової траєкторії точильного круга. По дотичних до кола відлітають й шматки ґрунту від коліс автомобіля, що буксує (рис. 61, б).



Рис. 60. Криволінійний рух моторного човна



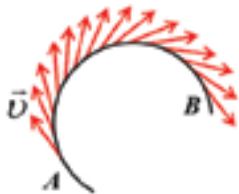
а)



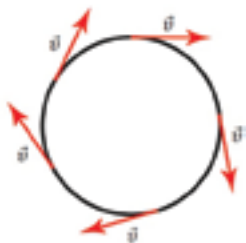
б)

Рис. 61. Рух по коловій траєкторії: а) точильного круга; б) коліс автомобіля





**Рис. 62.** Напрямок швидкості тіла (матеріальної точки) при русі по колу



**Рис. 63.** Графічне подання швидкості рівномірного руху тіла (матеріальної точки) по колу

Ці та інші спостереження і досліди дозволяють зробити висновок: тіло (матеріальна точка), рухаючись по коловій траєкторії, в кожній наступній точці має інший напрям швидкості (рис. 62).

Отже, *при русі тіла (матеріальної точки) по колу його швидкість весь час змінюється за напрямом і в будь-якій точці спрямована по дотичній до траєкторії руху.*

**2. Рівномірний рух матеріальної точки по колу.** Оцінимо значення швидкостей тіла (матеріальної точки) у різних точках колової траєкторії. Для цього розглянемо рис. 63. Як ви вже знаєте, довжина стрілки у певному масштабі відповідає значенню швидкості. Порівняємо довжини стрілок, вказані на рисунку (для цього зручно скористатися кронциркулем або масштабною лінійкою).

За результатами вимірювань можна зробити висновок: вектори швидкостей мають однакову довжину. А, отже, й значення швидкостей тіла у різних точках колової траєкторії є однаковими (рівними за величиною). Це означає, що рух тіла (матеріальної точки), який показано на рис. 63, відбувається із незмінною за величиною швидкістю, при цьому *напрямок швидкості у кожній точці траєкторії змінюється.*

*Рух по колу, при якому швидкість з плином часу не змінюється за величиною, а змінюється лише за напрямом, називають рівномірним.*

Швидкість руху тіла по колу називають *лінійною швидкістю*. Поняттям «лінійна швидкість» користуються у всіх випадках, коли траєкторією руху є крива лінія. Тому висновок, одержаний нами щодо напрямку

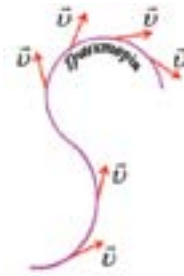
лінійної швидкості тіла при його русі по колу, можна поширити й на будь-який криволінійний рух: лінійна швидкість завжди спрямована *по дотичній* до відповідної точки криволінійної траєкторії (рис. 64, а).

Близьким до рівномірного руху є, наприклад, рух точок поверхні Землі під час її добового обертання. А от рух того ж точильного круга на початку його роботи та під час зупинки не є рівномірним. Тому на початку роботи точильного круга значення швидкостей точок на його поверхні зростає, а під час зупинки — зменшується.

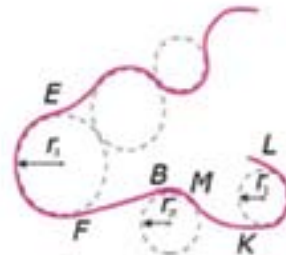
Ще раз виокремимо характерні ознаки рівномірного руху тіла (матеріальної точки) по колу:

- траєкторією руху є коло (рух відбувається вздовж колової траєкторії);
- напрям швидкості під час руху тіла по колу постійно змінюється;
- швидкість у кожній точці колової траєкторії спрямована (у напрямі обертання) уздовж дотичної до траєкторії;
- значення (величина) швидкості тіла при рівномірному русі по колу не змінюється (тобто є величиною сталою).

**3. Як використовують знання, набуті під час вивчення рівномірного обертання матеріальної точки по колу?** Будь-який криволінійний рух можна уявити, як сукупність рухів по дугах окремих кіл (рис. 64, б). Тому, дослідивши рівномірний рух тіла по колу і встановивши його закономірності, можна поширити ці закономірності на складні криволінійні рухи. Наприклад, закономірності рівномірного руху тіла по колу враховують при розрахунках



а)



б)

**Рис. 64.** Траєкторії криволінійного руху тіла (матеріальної точки): а) напрям лінійної швидкості при криволінійному русі; б) уявлення криволінійного руху як послідовності рухів по дугах кіл

*Закономірності рівномірного руху матеріальної точки по колу використовують для визначення швидкостей та інших характеристик будь-яких криволінійних рухів*

*У фізиці користуються таким методом: спочатку одержують відомості про більш прості і доступні для дослідження властивості певних об'єктів, а потім застосовують одержані знання у складних ситуаціях*

складних траєкторій і швидкостей руху літаків, космічних ракет і міжпланетних станцій; у процесі конструювання машин і механізмів, деталі яких здійснюють обертальний рух; у проектуванні різноманітних ігрових атракціонів, де використовується рух по колу.

#### **Висловіть свою думку**

Чому встановлення фізичних закономірностей доцільно здійснювати за схемою: від простого — до складного? Наведіть приклади, які підтверджують, що у фізиці це відбувається саме так.

#### **Подумайте і дайте відповідь**

1. Який рух називають криволінійним?
2. Дайте означення рівномірного руху тіла (матеріальної точки) по колу. Наведіть приклади такого руху.
3. Назвіть характерні ознаки рівномірного руху тіла (матеріальної точки) по колу.
4. Що називають лінійною швидкістю? До яких рухів застосовується цей термін? Який напрям має лінійна швидкість при криволінійному русі?

#### **Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

##### **Вправа 11.**

1. Швидкість тіла при його рівномірному русі по колу дорівнює  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Виразіть цю швидкість у  $\frac{\text{см}}{\text{с}}$  та зобразіть її графічно у 3—5 точках колової траєкторії (в масштабі 1:100).
2. Для чого на задній частині крил автомобіля, мотоцикла, велосипеда закріплюють гумові або пластикові брызговики?
3. Велосипедист рухається по коловій траєкторії радіусом 25 м. Виконайте відповідний рисунок та визначте, яке переміщення здійснить велосипедист, коли проїде половину довжини цієї траєкторії.
4. Автомобіль рухається по коловій траєкторії. Після того, як він проїхав  $\frac{1}{4}$  довжини цієї траєкторії, його переміщення склало 170 м. Виконайте відповідний рисунок та визначте радіус колової траєкторії руху автомобіля.

## § 12. ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ

Тіло, здійснюючи свій рух по колу, зрештою повертається у початкове положення — цим завершується його повний оберт по колу. Надалі рух тіла триває і воно починає робити наступний оберт. *Рухи, які повторюються через однакові проміжки часу, називаються періодичними.*

**1. Період обертання.** При рівномірному русі тіла по колу тривалість кожного наступного повного оберту не змінюється. Цю тривалість кількісно оцінюють за допомогою фізичної величини, яку називають *періодом обертання*.

*Період обертання — це фізична величина, що чисельно дорівнює часу, протягом якого матеріальна точка при рівномірному русі по колу здійснює один повний оберт.*

Період обертання позначають літерою  $T$ . Одиницею періоду обертання в СІ є секунда:  $[T] = 1 \text{ с}$ .

Для визначення періоду обертання  $T$  необхідно знати кількість  $N$  повних обертів, які здійснює тіло при рівномірному русі по колу за час  $t$ . Тоді період обертання обчислюється за формулою:

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

*Частота обертання — це число повних обертів, які тіло при рівномірному русі по колу здійснює за одиницю часу.*

Частоту коливань позначають грецькою літерою  $\nu$  (ню).

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

*Рух тіл по колу має характерну ознаку: він є таким, що повторюється*

*Періодичні рухи характеризуються поняттями період обертання і частота обертання*

*Період і частота обертання — величини взаємообернені. Вони зв'язані співвідношенням:  $\nu = \frac{1}{T}$*



а)



б)



в)

Одиницею частоти обертання в СІ є  $\frac{1}{\text{с}}$ .

**2. Визначення періоду обертання тіла по колу за відомим значенням лінійної швидкості.** Період обертання можна визначити ще одним способом. Для цього скористаємося рівнянням руху:  $l = v \cdot t$ . Шлях, пройдений тілом за період  $T$ , дорівнює довжині кола, тоді  $2\pi R = v \cdot T$ . Звідси  $T = \frac{2\pi R}{v}$ , де  $\pi = 3,14$ ;  $R$  — радіус кола, уздовж якого рухається тіло;  $v$  — лінійна швидкість тіла.

Отже, щоб визначити період обертання тіла, треба довжину кола, уздовж якого рухається тіло, поділити на швидкість його руху.

**3. Визначення лінійної швидкості обертання тіла по колу за відомим значенням періоду обертання.** Якщо відомі період рівномірного обертання тіла по колу та радіус кола, то лінійну швидкість можна визначити, використовуючи формулу періоду обертання:

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

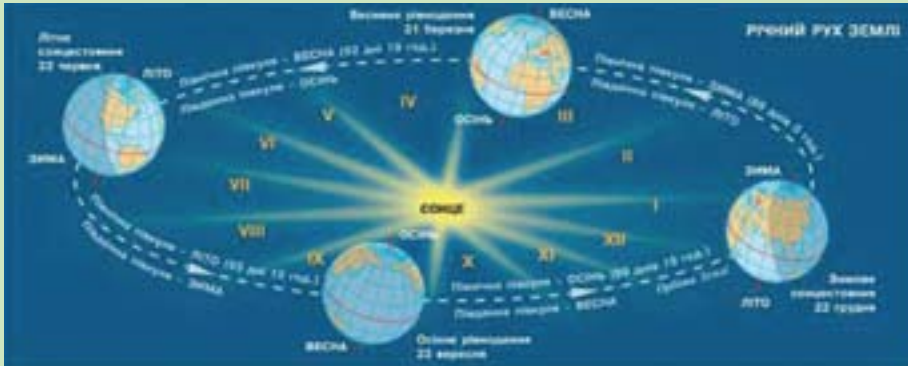
### Фізичне знання в техніці

Властивості обертального руху використовуються у механізмах з частинами, що обертаються — електродвигунах (рис. 65, а), дискових пилах (рис. 65, б), у вентиляційній техніці (рис. 65, в).

Рис. 65. Механізми з частинами, що обертаються

### Розширте науковий кругозір

#### Добовий рух небесних тіл

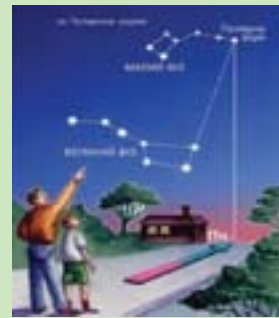


**Рис. 66.** Рух Землі навколо Сонця протягом року

Рух по траєкторії, яка за своєю формою наближується до колової — один із найпоширеніших видів руху у Всесвіті. Коловими рухами можна наближено вважати рухи точок земної поверхні під час її обертання навколо осі, рух Землі навколо Сонця протягом року (рис. 66), рух планет Сонячної системи навколо Сонця.

Коловим є й спостережуваний нами добовий рух кожної із зір на небі. Якщо уважно придивитися, то можна побачити, що не змінює свого положення відносно горизонту лише Полярна зоря, яка входить до сузір'я Малої Ведмедиці ( $\alpha$ -зоря) і яке має стародавню українську назву *Малий віз* (рис. 67, а). Інші зорі протягом доби описують кола з центром поблизу від Полярної зорі, при цьому всі вони обертаються одночасно. На рис. 67, б показано фотографію ділянки неба в околі Полярної зорі, отриману у безмісячну і безхмарну ніч за допомогою плівкового фотоапарату.

Важливо, що у цьому факті виявляється відносність механічного руху. Адже нам лише здається, що зорі переміщуються по небу. Насправді такий видимий добовий рух зір є проявом добового обертання Землі навколо своєї осі.



а)



б)

**Рис. 67.** а) так орієнтуються на Полярну зорю; б) фотографія видимого добового обертання зір навколо Полярної зорі



## Це треба знати

### Що таке «мова фізики»? Як охарактеризувати фізичну величину?

Мова фізики — це форма вираження наукових знань, спосіб їх існування. Під мовою фізики розуміють систему понять, знаків, символів, які створюються і використовуються для одержання, опрацювання, зберігання і застосування фізичних знань.

Людина, яка не розуміє української мови, ніколи не зможе оцінити красу поезії Тараса Шевченка! Так само, не розуміючи мови фізики, ви не зможете грамотно і зрозуміло висловити свою думку, пояснити той або інший факт, відстояти власну наукову позицію.

Ви вже знаєте, що «...фізика починається там, де здійснюють вимірювання». Тому фізична величина — це основа мови фізики, а, отже, можна стверджувати, що *мовою фізики є мова фізичних величин*. Навчитись уміло послуговуватися науковою термінологією — це важливе завдання кожної освіченої людини.

#### *Як правильно охарактеризувати фізичну величину?*

Для описання фізичної величини як характеристики певної властивості фізичного об'єкту слід дотримуватися такого плану:

1. Встановити властивість, яку характеризує дана величина. Пояснити, яким експериментальним методом ця величина може бути визначена.
2. Виявити, для яких фізичних об'єктів ця величина є загальною у якісному відношенні.
3. Дати означення фізичної величини, навести її умовне позначення.
4. Назвати одиницю фізичної величини в СІ, а також кратні та дільні одиниці.
5. Записати формулу, що відображає зв'язок даної фізичної величини з іншими фізичними величинами.

*Використовуйте наведене описання фізичної величини як узагальнений план підготовки відповіді про певну фізичну величину.*

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Які рухи називаються періодичними?
2. Що таке період обертання? Яку властивість руху по колу він характеризує? В яких одиницях в СІ вимірюють період обертання?
3. Як визначають період обертання, якщо відомі число повних обертів і час, протягом якого вони відбулися?
4. Як визначають період обертання, якщо відомі радіус колової траєкторії тіла та його лінійна швидкість?
5. Як з формули для періоду обертання одержати формулу для визначення лінійної швидкості руху по колу?
6. Рухаючись рівномірно по колу, тіло за час 8 с здійснило 4 оберти. Який період обертання тіла?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 12.**

1. Ковзаняр рівномірно рухається по колу радіусом 20 м зі швидкістю  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Оберіть масштаб і побудуйте графік залежності шляху, пройденого ковзаняром, від часу.
2. Доведіть, що період і частота рівномірного руху по колу зв'язані співвідношенням:  $v = \frac{1}{T}$ .
3. Визначте періоди обертання секундної, хвилинної та годинної стрілок годинника.
4. Визначте лінійні швидкості кінців секундної та хвилинної стрілок свого годинника. Врахуйте, що довжина кола (шлях, який проходить кінець стрілки) обчислюється за формулою  $l = 2\pi R$ , де  $l$  — довжина кола;  $\pi = 3,14$ ;  $R$  — радіус колової орбіти, що чисельно дорівнює довжині стрілки годинника (її треба виміряти самостійно).
5. За 100 годин Юпітер (найбільша планета Сонячної системи) здійснює 10 обертів навколо своєї осі. Яка тривалість доби на Юпітері?
6. Час оберту Землі навколо своєї осі дорівнює 24 год. Обчисліть лінійну швидкість обертання точок поверхні Землі на екваторі. З якою лінійною швидкістю рухається Земля навколо Сонця? Радіус Землі 6378 км. Радіус земної орбіти  $1,5 \cdot 10^8$  км.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу

#### Мета роботи

Експериментально дослідити закономірності рівномірного руху тіла по колу; визначити період обертання тіла; визначити швидкість тіла, яке рівномірно рухається по колу.

**Прилади і матеріали:** 1) штатив з муфтою та кільцем; 2) два тягарця з відомими масами, які мають наскрізні отвори або гачки; 3) міцна нитка для кріплення тягарців; 4) секундомір або годинник з секундною стрілкою; 5) лист паперу з накресленим колом радіусом 10—15 см.

#### Питання для самопідготовки:

1. Прикладом якого руху є рух по колу? 2. Який рух по колу називають рівномірним? 3. Назвіть основні характеристики рівномірного руху по колу, запишіть формули для їх визначення. 4. Запишіть формулу для визначення лінійної швидкості тіла, яке рівномірно рухається по колу.

#### Порядок виконання роботи

1. Установіть штатив з кільцем на учнівському столі. Закріпіть тягарець з масою  $m_1$  на нитці і підвісьте його до кільця штатива так, щоб тягарець знаходився на відстані 1,5—2 см від поверхні столу.

2. Покладіть під штативом у площині обертання тягарця лист з накресленим колом. При цьому тягарець повинен знаходитись над центром кола. У будь-якій точці кола поставте відмітку, від якої ви будете відлічувати кількість обертів тягарця.

3. Відхиліть тягарець від положення рівноваги і надайте йому обертального руху вздовж накресленого кола. Після того, як тягарець зробить декілька обертів, увімкніть секундомір в момент проходження тягарця через відмітку на колі. Відлічивши  $N$  повних обертів (10—15), зупиніть секундомір і визначте час  $t$ , за який ці оберти відбулись.

4. Виконайте дослід 3 рази, не змінюючи число  $N$  повних обертів. Обчисліть середній час цих обертів  $t_{\text{сер}}$ .

5. Обчисліть значення періоду  $T$  обертання тягарця масою  $m_1$ .

6. Обчисліть швидкість рівномірного руху тягарця по колу  $v_1$ .

7. Не змінюючи довжину нитки, підвісьте до кільця штативу тягарець з масою  $m_2$  і виконайте пункти 2—6 порядку виконання роботи.

8. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 6.

**Результати вимірювань та обчислень**  
(до лабораторної роботи №4)

Таблиця 6.

№ досліду	Маса тягарця $m$ , кг	Число повних обертів $N$	Час, за який відбувається $N$ повних обертів $t$ , с	Середній час, за який відбувається $N$ повних обертів $t_{\text{сер}}$ , с	Період обертання тягарця $T$ , с	Швидкість руху тягарця по колу, $v$ , м/с
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

**9. Зробіть висновки щодо:**

- залежності (або відсутності такої) періоду обертання від маси тіла;
- впливу числа  $N$  повних обертів на точність вимірювання періоду обертання тіла;
- експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

**Контрольні запитання**

1. Поясніть, чим зумовлена необхідність вивчення криволінійних рухів.
2. Обґрунтуйте, чому з усіх видів криволінійних рухів найбільш доцільним є дослідження руху по колу?

**Додаткове завдання**

Експериментально перевірте, як вплине на період обертання тягарця зміна довжини нитки, на якій він закріплений. Для цього складіть нитку підвісу вдвоє. Одержаний результат поясніть.

## § 13. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. МАЯТНИКИ



Рис. 68. Рух тягарця на нитці (приклад нитяного маятника)

1. **Що таке коливальний рух?** У попередніх параграфах (§§ 11, 12) ми розглядали рух тіла по колу і встановили, що характерною ознакою такого руху є його *повторюваність*. Та є ще один вид механічного руху, який теж має здатність повторюватись з плином часу — це *коливальний рух* (або *коливання*).

Розглянемо коливальний рух докладніше і для цього виконаємо такий дослід. Закріпимо на нитці тягарець невеликих розмірів (рис. 68), відхилимо його від вертикального напрямку вбік і відпустимо. Тягарець буде рухатися від одного крайнього положення до іншого і у зворотному напрямі — до початкового положення. Надалі тягарець буде повторювати описаний рух через певні проміжки часу. Такий рух тягарця є прикладом *механічного коливального руху*.

Іншими прикладами механічних коливальних рухів є рух гойдалки або човна на хвилях, хитання автомобілів або вагонів залізничного потяга на ресорах під час руху. Вгору-вниз рухатиметься також тіло під дією пружини, якщо її попередньо стиснути або розтягнути у вертикальному напрямі і відпустити (рис. 69, а). Коливання тіла під дією однієї чи кількох пружин можуть відбуватися і в горизонтальній площині (рис. 69, б).



а)

Рис. 69. Коливання тіл під дією пружини



б)

**2. Приклади коливального руху. Умови виникнення коливань.** Коливання здійснюють стебла рослин на вітру, голка швейної машини, вантаж, підвішений на нитці або на пружині. Чергування припливів та відливів, биття серця — це теж коливання. Коливальний рух відбувається в надрах Землі. У всіх наведених рухах можна виділити спільну ознаку — багатократне повторення одного й того самого циклу руху.

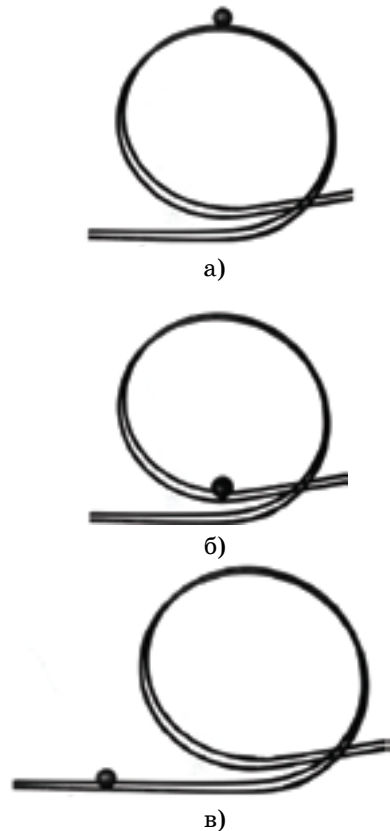
*Коливаннями (або коливальними рухами) називаються чергові рухи тіла у двох протилежних напрямках.* Незважаючи на те, що коливальні рухи різноманітні, вони мають спільні закономірності і описуються однаковими математичними методами. Надалі ми будемо розглядати *періодичні* коливання.

*Коливання називаються періодичними, якщо значення фізичних величин, що змінюються у процесі коливань, повторюються через рівні проміжки часу.* Таким чином, коливальні рухи можна ще означити як такі, що мають *той чи інший ступінь повторюваності у часі*.

А чи кожне тіло може коливатись? Здатність (або нездатність) тіла здійснювати механічні коливання визначається його механічним станом. Це можна спостерігати на досліді з кулькою, яку послідовно встановлюють у положення а, б, в спеціальної (відцентрової) доріжки (рис. 70).

Очевидно, що кулька може перебувати в рівновазі у кожному з цих положень. Проте рівновага кульки в положенні «а» є нестійкою: невеликий поштовх — і кулька покотиться вниз. Характер рівноваги кульки в

*Коливання — найпоширеніший від рухів*



**Рис. 70.** Три види рівноваги кульки на відцентровій доріжці: а) нестійка, б) стійка, в) байдужа

*Тіло, яке коливається, завжди пов'язане з іншими тілами і разом з ними утворює коливальну систему*



Рис. 71. Маятниковий годинник

*У нитяного маятника положення рівноваги знаходиться на вертикалі під точкою підвісу*

положенні «в» не порушується — це приклад байдужої рівноваги. Стійкою є рівновага кульки лише в найнижчій точці заглибини доріжки (положення «б»). Більше того, якщо кульку при цьому штовхнути вздовж доріжки, то вона спочатку рухатиметься вгору, потім на мить зупиниться і почне рухатися вниз. Набувши швидкості, кулька пройде положення рівноваги і знову почне підніматися вгору, але в протилежний бік. Досягши найбільшої висоти, кулька знову зупиниться і почне рухатися у зворотному напрямі.

Виконаний дослід дозволяє зробити висновок: *рух тіла може мати коливальний характер лише поблизу положення стійкої рівноваги*. Інакше це можна сформулювати так: *при коливальному русі тіло періодично повертається у положення рівноваги*.

*Сукупність (систему) тіл, в якій за певних умов можуть відбуватися коливання, називають коливальною системою*. Зокрема, коливальні системи зображено на рис. 68 та рис. 69 а, б. Такі системи називають *маятниками*.

### 3. Види маятників.

**Нитяний маятник.** У п.1 цього параграфу ви вже ознайомились з таким видом маятника (рис. 68). У загальному випадку, *нитяний маятник* — це невелика кулька, закріплена на довгій нитці (підвісі). Нитяний маятник має цікаві властивості, які зумовлюють його практичне застосування. Наприклад, тривалість одного повного коливання довгого нитяного маятника залежить лише від довжини нитки і не залежить від маси тягарця. Про цю та інші



властивості нитяного маятника ви дізнаєтеся, виконуючи лабораторну роботу № 5 (§ 14). Оскільки *тривалість одного повного коливання такого маятника залежить лише від довжини підвісу* (геометричних параметрів маятника), то маятники такого типу називали *математичними*.

*Математичний маятник — це матеріальна точка, яка коливається на невагомому і нерозтяжному підвісі.*

Властивості нитяного маятника покладено в основу механізмів годинників, які називаються *маятниковими годинниками* (рис. 71).

**Пружинний маятник.** Приклади пружинних маятників подано на рис. 69, а, б.

Тривалість одного повного коливання пружинного маятника залежить від властивостей тіла, що коливається, та пружини, під дією якої ці коливання відбуваються.

*У пружинного маятника положення рівноваги співпадає з положенням тіла у стані спокою.*

Пружинні маятники часто використовуються у побуті і техніці. Наприклад, у годинниках використовується балансирний механізм, який дозволяє регулювати точність ходу годинника за рахунок зміни довжини пружини (рис. 72).

**Фізичний маятник.** Щоб виготовити такий маятник, можна взяти лінійку із отвором, почепити її на забитий у стінку цвях і надати лінійці можливість рухатися: відвести її вбік і відпустити, або штовхнути у горизонтальному напрямі (рис. 73, а). Ніжка із тягарцем у метрономі (рис. 73, б) теж є фізичним маятником.



Рис. 72. Балансирний механізм: 1 — балансирна пружина, 2 — регулятор довжини пружини



а)



б)

Рис. 73. Приклади фізичних маятників: а) лінійка, що коливається навколо закріпленої осі; б) ніжка із тягарцем у метрономі

### ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

#### А все-таки вона обертається

У 1851 році під куполом Пантеону у м. Парижі французький фізик, член Паризької Академії наук **Жан Бернар Леон Фуко** (1819–1868) вперше виконав дослід, який довів добове обертання Землі навколо осі. Маятник, споруджений ученим складався із чавунної кулі масою 28 кг, під якою було закріплене вістря, та сталевого дроту довжиною 67 м, на якому ця куля була підвішена. Під маятником був зроблений коловий поміст, по краю якого насипався пісок (рис. 74, а). Одне повне коливання маятника тривало 16 секунд, і при кожному відхиленні вістря прокреслювало на піску нову риску, зміщену відносно попередньої. Це наочно демонструвало обертання помосту разом із Землею. На честь видатного фізика використаний у досліді маятник був названий *маятником Фуко*.



Рис. 74, а



б)

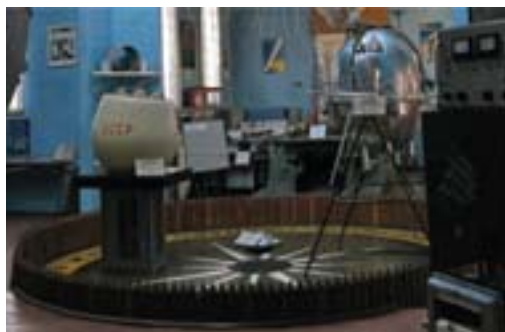
**Рис. 74.** Історичні досліді з маятником Фуко: а) у виконанні Жана Бернара Леона Фуко (м. Париж); б) в Ісаакіївському соборі (м. Санкт-Петербург)

Дослід Фуко багаторазово повторювався у різних місцях. Зокрема, у 1931 році дослід з маятником Фуко довжиною 98 м був проведений в Ісаакіївському соборі у м. Санкт-Петербурзі (тоді Ленінград). Точна копія самого першого маятника Фуко у м. Парижі і маятник Фуко у м. Санкт-Петербурзі (рис. 74, б) продовжують коливатися і нині.

За коливаннями найбільших в Україні маятників Фуко можна спостерігати у Музеї космосу м. Переяслава-Хмельницького, у приміщенні Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова, у холі Науково-технічної бібліотеки Національного технічного університету України «КПІ» у м. Києві (рис. 75, а, б, в). Подібні маятники можна побачити у вестибюлі Генеральної Асамблеї ООН (Нью-Йорк, США), у базиліці Святого Петронія (Болонья, Італія) та в

багатьох інших країнах світу. Сьогодні маятники Фуко встановлюють у природничих музеях, наукових обсерваторіях, планетаріях, в університетських лабораторіях. Така увага до маятників Фуко пояснюється тим, що вони відіграють важливу просвітницьку роль — демонструють перемогу науки над релігією!

Якщо вас зацікавили досліди з маятниками Фуко, то інформацію про історичне значення та властивості цих маятників, а також про те, у яких містах світу вони встановлені і де конструюються сьогодні, ви можете отримати з мережі Інтернет та численних друкованих джерел інформації (довідників, фізичних словників, енциклопедій, періодичних наукових видань тощо).



а)



б)



в)

**Рис. 75.** Діючі маятники Фуко в Україні: а) у музеї космосу (м. Переяслав-Хмельницький); б) у Національному педагогічному університеті імені М.П. Драгоманова (м. Київ); в) у Науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «КПІ» (м. Київ)

#### Фізичне знання в техніці

Властивості маятників широко використовуються в техніці, а саме:

- у сейсмографах — приладах для реєстрації коливань ґрунту, зокрема, при землетрусах (рис. 76, а);
- у пристроях для гасіння вібрацій лопатей несучого гвинта гвинтокрилів (рис. 76, б);
- у показниках-сигналізаторах крену баштових кранів (рис. 76, в), вантажівок з причепами (рис. 76, г) та інших технічних пристроях.



а)



б)



в)



г)

**Рис. 76.** Використання маятників у техніці

#### Подумайте і дайте відповідь

1. Які рухи відносять до коливальних? Наведіть приклади таких рухів.
2. Дайте означення механічних коливань.
3. У яке положення тіло періодично повертається впродовж коливального руху?
4. Що називають коливальними системами (маятниками)?
5. Назвіть види маятників. Наведіть приклади маятників та їх застосування.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 13.

1. Який з перерахованих процесів відноситься до механічних коливань: а) сезонні зміни температури повітря; б) коливання струни музичного інструменту; в) зміна пір року.
2. Відомо, що планети обертаються навколо Сонця по траєкторіях, які за формою наближуються до колових, повторюючи їх протягом кожного наступного оберту. Чому у такому разі рухи планет не можна вважати механічними коливаннями?
3. Поясніть механізм коливань маятників різних видів: нитяного; пружинного; фізичного.
- 4\*. Що ви знаєте про історичний дослід з маятником Фуко? Поясніть суть цього досліді.

### Із історії фізики: вчені і факти

#### Як була відкрита одна з основних властивостей маятників

Видатного італійського ученого Галілео Галілея завжди цікавило розкачування на продуві світильників у соборі, куди він приходив на службу. Галілей спостерігав за світильниками і помітив, що, незалежно від розмаху їх коливань, тривалість одного повного коливання світильника залишається сталою. Але як можна було це перевірити? У Галілея виникла геніальна ідея, яка могла прийти у голову лише фізику — він скористався биттям власного серця, яке є регулярним рухом. І виявився правий: тривалість коливання світильника не змінювалася.

Ця властивість маятників одержала назву ізохронності (від грецьких слів *isos* — однаковий та *chronos* — час).

Результат, одержаний Галілеєм, мав безпосереднє практичне значення. Зокрема, ним скористалися лікарі для вимірювання пульсу хворих. Крім того, ізохронність маятників дала можливість створити механізм для регулювання ходу годинників (див. рис. 72).

### Підготуйте повідомлення

Коливальні рухи в природі та в різних галузях техніки.

## § 14. АМПЛІТУДА. ПЕРІОД І ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ

*Коливальний рух, як і будь-який інший механічний рух, відбувається вздовж певної траєкторії і характеризується шляхом, переміщенням, швидкістю тощо*



Рис. 77. Основні характеристики колювання нитяного маятника

**1. Амплітуда колювань.** Для коливально-го руху вводять спеціальні фізичні величини, за допомогою яких кількісно оцінюють властивості, характерні лише для даного виду руху. Насамперед, це такі фізичні величини, як зміщення і амплітуда.

Найкоротшу відстань тіла, що коливається, від положення рівноваги у даний момент часу називають зміщенням. Зміщення позначають літерою  $x$  (рис. 77). В СІ одиницею зміщення є метр:  $[x] = 1 \text{ м}$ .

Максимальне значення зміщення тіла, що коливається, від положення рівноваги називають амплітудою колювань. Амплітуду позначають літерою  $A$ .

$$A = x_{\max}.$$

В СІ амплітуду, відповідно, теж вимірюють у метрах:  $[A] = 1 \text{ м}$ . Амплітуда характеризує розмах колювань.

*Приклад.* Відстань  $a$  від крайнього лівого до крайнього правого положення тіла, що коливається, становить 4 см. Якою є амплітуда колювань?

Дано:

$$a = 4 \text{ см}$$

$A = ?$

Розв'язання

Скористаємося рис. 77. За умовою задачі

$$a = 2 x_{\max}, \text{ а } x_{\max} = A, \text{ тоді } a = 2A.$$

$$\text{Отже, } A = \frac{a}{2}.$$

$$\text{Обчислення: } A = \frac{4 \text{ см}}{2} = 2 \text{ см}.$$

Відповідь: амплітуда колювань тіла дорівнює 2 см.



**2. Період і частота коливань.** У процесі коливального руху на здійснення одного повного коливання витрачається певний час.

*Проміжок часу, за який тіло, що коливається, здійснює одне повне коливання, називається періодом коливання.*

Період коливань, як і у випадку обертового руху, позначають літерою  $T$ . Одиницею періоду в СІ є секунда:  $[T] = 1 \text{ с}$ .

Якщо відома кількість коливань  $N$ , що відбуваються за час  $t$ , то період коливань обчислюють за формулою

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

*Кількість коливань за одиницю часу називають частотою коливань. Частоту коливань позначають літерою  $\nu$ .*

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

Одиницею частоти в СІ є герц:  $[\nu] = 1 \text{ Гц}$ .

1 Гц — це частота такого коливання, при якому за 1 с здійснюється одне повне коливання:

$$1 \text{ Гц} = \frac{1 \text{ коливання}}{1 \text{ секунду}} = \frac{1}{1 \text{ с}} = 1 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Одиниця частоти коливань названа на честь видатного німецького фізика **Генріха Рудольфа Герца** (1857–1894).

З цього співвідношення випливає, що зменшення періоду коливань означає збільшення їх частоти, і навпаки — із зменшенням частоти коливань період коливань збільшується.

Амплітуда, період і частота — основні характеристики коливань, які у процесі даного коливального руху не змінюються.

*Період характеризує тривалість одного повного коливання*

*Частота характеризує ступінь повторюваності коливань у часі*

На практиці для вимірювання частоти застосовуються кратні одиниці: гігагерц (ГГц), кілогерц (кГц), мегагерц (МГц):

$$1 \text{ ГГц} = 100 \text{ Гц};$$

$$1 \text{ кГц} = 1000 \text{ Гц};$$

$$1 \text{ МГц} = 1000 \text{ 000 Гц}.$$

*Цілком очевидно, що період і частота коливального руху пов'язані таким співвідношенням:*

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



## Це треба знати

### Як пояснюють фізичні явища

Ви завершили вивчення чотирьох видів механічних рухів: рівномірного прямолінійного руху, нерівномірного прямолінійного руху (розділ 2), рівномірного обертання матеріальної точки по колу та механічних коливань (розділ 3).

Чи помітили ви, що вивчення кожного фізичного явища ми здійснювали, дотримуючись однієї і тієї самої послідовності міркувань? Конкретизуємо цю послідовність:

1. З'ясування зовнішніх проявів (ознак) фізичного явища. Виявлення фізичних об'єктів, з якими дане явище відбувається.
2. Віднесення даного явища до певного виду фізичних явищ.
3. Описання явища. З'ясування його фізичної суті.
4. Визначення умов, за яких дане явище відбувається.
5. Співставлення даного явища з іншими явищами.
6. Пояснення явища на основі уже відомих наукових знань.
7. Приклади проявів явища у природі, побуті й техніці.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що називають зміщенням? амплітудою коливань? В яких одиницях ці фізичні величини вимірюються?
2. Дайте означення періоду коливань. Яка одиниця періоду в СІ?
3. Що називають частотою коливань? Яка одиниця частоти в СІ?
4. Який зв'язок між періодом і частотою коливань?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 14.

1. За 0,5 хв маятник здійснив 10 коливань. Обчисліть період коливань.
2. Довжина підвісу нитяного маятника 1 м. Максимальна висота підняття кульки над горизонтальною поверхнею під час її коливань дорівнює 3 см. Яка амплітуда коливань? При розв'язанні задачі скористайтесь рис. 77.
3. Опишіть кожну з основних характеристик коливань (зміщення, амплітуду, період і частоту) відповідно до узагальненого плану відповіді про фізичну величину (§ 12).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Дослідження коливань нитяного маятника

#### Мета роботи

Експериментально визначити період коливань нитяного (математичного маятника); установити залежність періоду коливань математичного маятника від амплітуди коливань, маси маятника та його довжини.

**Прилади і матеріали:** 1) штатив з муфтою та кільцем; 2) два тягарця з відомими масами, які мають наскрізні отвори або гачки; 3) міцна нитка для кріплення маятників; 4) лінійка з міліметровими поділками; 5) секундомір або годинник із секундною стрілкою.

#### Питання для самопідготовки

1. Назвіть характеристики коливального руху, запишіть формули для їх визначення. 2. Поясніть, чи змінюються характеристики коливального руху у процесі коливань. Якщо змінюються, то які саме? 3. Назвіть одиниці фізичних величин, які характеризують коливальний рух.

#### Порядок виконання роботи

1. Установіть штатив з кільцем на учнівському столі і виготуйте маятник такої довжини, щоб тягарець з масою  $m_1$  знаходився на відстані 1,5—2 см від поверхні столу. Виміряйте за допомогою лінійки довжину нитки  $l$ .

2. Визначте період коливань виготовленого вами маятника (*дослід № 1*). Для цього відхиліть маятник на невеликий кут і відпустіть його. Після того, як він зробить декілька коливань, увімкніть секундомір в той момент, коли маятник перебуватиме в одному з крайніх положень. Відлічивши  $N$  повних коливань (10—15), зупиніть секундомір і визначте час  $t$ , за який ці коливання відбулися. Виконайте дослід 3 рази, щоразу відхиляючи маятник на інший кут, але суттєво не змінюючи амплітуду коливань.

3. Визначте середній час  $t_{\text{сер}}$  числа  $N$  повних коливань і обчисліть період коливань математичного маятника.

4. Результати вимірювань і обчислень досліді № 1 запишіть у таблицю 7.

5. Зробіть *висновок*: чи залежить період коливань нитяного маятника від амплітуди коливань?

Результати вимірювань і обчислень (до лабораторної роботи № 5) Таблиця 7.

№ досліду	Маса тягарця $m$ , кг	Довжина маятника $l$ , м	Число повних коливань маятника $N$	Час, за який відбуваються $N$ повних коливань $t$ , с	Середній час, за який відбуваються $N$ повних коливань $t$ , с	Період коливань маятника $T$ , с
1.1. 1.2. 1.3.	$m_1 =$	$l_1 =$				
2.1. 2.2. 2.3.	$m_2 =$	$l_1 =$				
3.1. 3.2. 3.3.	$m_2 =$	$l_2 =$				

6. Визначте, чи залежить період коливань нитяного маятника від його маси (дослід № 2). Для цього, не змінюючи довжини нитки  $l$ , повторіть пункти 2—4 порядку виконання роботи для вантажу з масою  $m_2$ . Результати вимірювань і обчислень досліду № 2 запишіть у таблицю 7.

7. Зробіть *висновок*: чи залежить період коливань маятника від його маси?

8. Визначте, чи залежить період коливань нитяного маятника, від його довжини (дослід № 3). Для цього не змінюючи масу маятника, змініть його довжину, позначивши її  $l_2$ . Повторіть пункти 2—4 порядку виконання роботи для довжини  $l_2$ . Середній час  $t_{\text{сер}}$  числа  $N$  повних коливань та період коливань маятника  $T$  визначте аналогічно до попередньої частини роботи. Результати вимірювань і обчислень досліду № 3 запишіть у таблицю 7).

9. Зробіть *висновок*: чи залежить період коливань нитяного маятника від його довжини?

10. Зробіть *загальний висновок* щодо експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

#### Контрольні запитання

- Запишіть характеристики коливального руху, добуток яких завжди дорівнює одиниці.
- Поясніть, чи зміниться період коливань гойдалки, якщо замість двох хлопців на неї сядуть четверо?

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3

## Початковий рівень

1. До якого виду руху можна віднести рух Землі навколо своєї осі?  
 А Коливального. В Обертального.  
 Б Прямолінійного. Г Хаотичного.
2. Який з наведених нижче рухів є періодичним?  
 А Качання човна на хвилях.  
 Б Хід маятника у годиннику.  
 В Розкачування стволів дерев на вітру.  
 Г Розмахування руками при ходьбі.
3. Скільки разів за період коливань тіло, що коливається, проходить через положення рівноваги?  
 А 4. Б 1. В 3. Г 2.

## Середній рівень

- 4.** Тіло рівномірно рухається по колу. Яка характеристика руху при цьому є змінною?
- A** Період обертання.                      **B** Пройдений шлях.  
**B** Частота обертання.                    **Г** Лінійна швидкість.
- 5.** Як спрямована лінійна швидкість тіла при його русі по колу?
- A** До центру кола в будь-якій точці траєкторії.  
**B** Від центра кола в будь-якій точці траєкторії.  
**B** По дотичній до кола в певних точках траєкторії.  
**Г** По дотичній до кола в будь-якій точці траєкторії.
- 6.** Період коливань маятника дорівнює 10 с. Визначте частоту його коливань.
- A** 0,01 с.                  **B** 0,1 с.                  **B** 0,001 с.                  **Г** 1 с.

**Достатній рівень**

**7.** Від яких величин залежить період коливань нитяного маятника?

- А** Від довжини нитки.                      **В** Від маси маятника.  
**Б** Від товщини нитки.                      **Г** Від амплітуди коливань.

**8.** Радіус коліс українського швидкісного електропотягу «Тарпан» дорівнює 95 см, а частота обертання точок на їх ободі під часу руху  $6,5 \text{ с}^{-1}$ . Визначте швидкість електропотягу.

- А**  $230 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .    **Б**  $140 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .    **В**  $155 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .    **Г**  $90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .

**9.** За одну хвилину вантаж на пружині здійснює 12 коливань. Визначте частоту коливань.

- А**  $12 \text{ с}^{-1}$ .    **Б**  $0,2 \text{ с}^{-1}$ .    **В**  $2 \text{ с}^{-1}$ .    **Г**  $1,2 \text{ с}^{-1}$ .

**Високий рівень**

**10.** Який факт довів дослід Фуко?

- А** Залежність періоду коливань маятника від довжини нитки.  
**Б** Залежність періоду коливань маятника від маси вантажу.  
**В** Обертання Земля навколо Сонця.  
**Г** Обертання Землі навколо своєї осі.

**11.** Що є необхідною умовою здатності тіла до здійснення механічних коливань?

- А** Виведення тіла з положення стійкої рівноваги.  
**Б** Виведення тіла з положення байдужої рівноваги.  
**В** Виведення тіла з положення нестійкої рівноваги.  
**Г** Можливість руху у прямому і зворотному напрямках.

**12.** Визначте співвідношення між лінійними швидкостями руху хвилинної і секундної стрілок годинника.

- А** 1:60.    **Б** 1:30.    **В** 1:12.    **Г** 1:5.

### ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Космічний корабель «Восток», який пілотував перший у світі космонавт Юрій Олексійович Гагарін, піднявся на висоту 327 км, рухався зі швидкістю  $7,8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  і зробив один повний оберт навколо Землі. Визначте час, за який космонавт облетів земну кулю. Радіус Землі 6378 км. (Відповідь: 90 хв).

2. Визначте відношення частот коливань двох нитяних маятників, якщо за один й той самий час один маятник здійснив 10 коливань, а другий — 20 коливань. (Відповідь: 0,5).

3. Найбільший атракціон «Колесо огляду» в Україні знаходиться у м. Бердянську. Його висота 50 м. Визначте швидкість кабінок з людьми, якщо один повний оберт колесо здійснює за 15 хв. (Відповідь:  $17 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ ).

4. Автомобіль в'їжджає на перехрестя з коловим рухом і рухається по ньому із сталою швидкістю  $40 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Проїхавши  $\frac{3}{4}$  довжини перехрестя, автомобіль виїжджає з нього. Розрахуйте час руху автомобіля на перехресті якщо його радіус складає 30 м. (Відповідь:  $\approx 13$  с).

5. Швидкість коня у галопі по цирковому манежу складає  $15 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Визначте, скільки обертів встигає зробити кінь по арені київського цирку за час номера з наїзниками, який триває 8 хв. Діаметр арени київського цирку дорівнює 12,8 м. (Відповідь:  $\approx 50$ ).

6. Штучні супутники Землі забезпечують ретрансляцію телевізійних програм, мобільний зв'язок та роботу комп'ютерної мережі Інтернет. Україна має три таких супутники, які були виведені на орбіту в площині екватора Землі ракетами «Зеніт» та «Дніпро». Визначте лінійну швидкість обертання супутника-ретранслятора, якщо він обертається на висоті 35786 км з періодом 24 год. Радіус Землі 6378 км. (Відповідь:  $3064 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ).

7. Період коливань маятника Фуко, встановленого у Національному педагогічному університеті імені Михайла Драгоманова (м. Київ), дорівнює 8 с. Визначте, скільки коливань за хвилину робить цей маятник. (Відповідь: 7,5 коливань).

# Частина III

## Взаємодія тіл. Сила

### Розділ 4. ІНЕРЦІЯ І ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. МАСА І СИЛА

- Чи може тіло почати рух за відсутності дій з боку інших тіл?
- Як довго рухатиметься тіло, якщо усунути причини, що протидіють рухові?
- Як Галілео Галілей спростував усталені погляди на рух?
- Чому подушка безпеки переднього пасажира в автомобілі знаходиться на приладній панелі?
- Чому барабан пральної машини після її вимкнення не зупиняється миттєво?
- У чому полягають особливості такої характеристики тіла, як маса?
- Як виміряти масу тіл, для яких не можна використати терези?
- Що у фізиці розуміють під словом «сила»?





## § 15. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ. ІНЕРТНІСТЬ ТІЛА. МАСА ТІЛА

**1. Інерція.** Із повсякденного досвіду ви знаєте, що *швидкість тіла може змінюватися лише при дії на нього іншого тіла (або тіл)*. Рухомі тіла можна зупинити, а нерухомі — привести в рух. Наприклад, м'яч, що лежить на землі, зберігатиме свій нерухомий стан (стан спокою) доти, доки по ньому не вдарять (рис. 78). При цьому спочатку в рух приходить нога, а вже потім починає рухатись м'яч. Тобто рух м'яча починається внаслідок руху ноги, при цьому рух ноги не зникає безслідно — він переходить у рух м'яча.

Очевидно, що зміна швидкості м'яча безпосередньо у процесі його руху також відбувається не сама собою, а спричиняється дією інших тіл. Так, якщо по рухомому м'ячу знову вдарити, то швидкість його руху збільшиться. Якщо ж дії на м'яч припиняться, то він буде котитися і в кінці кінців зупиниться внаслідок тертя об землю та повітря.

У багатьох випадках зміна швидкості тіл у процесі руху відбувається внаслідок притягання Землі. Тіло, яке знаходиться над її поверхнею та ні на чому не тримається, впаде на Землю, при цьому швидкість цього тіла буде зростати по мірі наближення до неї. У будь-якому випадку *причиною зміни стану спокою або руху тіла є дія на нього іншого тіла (або тіл)*.

Виникає запитання: а що відбувалося б з рухомим тілом, якби воно не зазнавало дії інших тіл? З'ясуємо це на досліді, в якому



**Рис. 78.** М'яч змінює стан спокою або руху лише внаслідок дії на нього іншого тіла (інших тіл)

*Причини зміни руху тіл — це дії інших тіл. Розділ механіки, у якому вивчається вплив взаємодій між тілами на їх рух, називається динамікою.*

*Динаміка — від грецького слова *dinamis* — сила.*

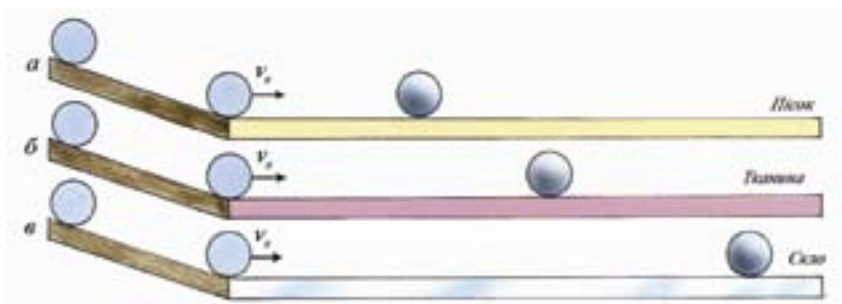


**Рис. 79.** Дослідна установка, за допомогою якої вивчають скочування кульки вздовж жолоба

вивчають вплив тертя на рух кульки, що скочується вздовж похилого жолоба. На рис. 79 показано зовнішній вигляд відповідного приладу, який використовується у фізичних лабораторіях для вивчення механічного руху.

Виконаємо подібні дослідження і ми (рис. 80). Прилаштуємо впритул до горизонтально розміщеної кришки стола похилий жолоб. Будемо скочувати сталеву кульку цим жолобом з однієї і тієї самої висоти у кожному досліді, щоб до моменту викочування кульки на стіл вона набувала однакової швидкості.

Спочатку покриємо кришку стола шаром піску, а потім надамо кульці можливість скочуватися (рис. 80, а). Проїшовши невеликий шлях вздовж поверхні стола, кулька зупиниться. Причина очевидна: тертя кульки об пісок чинить опір рухові. Повторимо дослід, але тепер кришку стола вкриємо цупкою, добре натягнутою тканиною. Пустивши кульку, помітимо, що вона пройшла більший шлях, оскільки опір рухові зменшився (рис. 80, б). Якщо впритул до жолоба покласти лист полірованого скла і повтори-



**Рис. 80.** Схематичне зображення дослідів, в якому вивчають вплив тертя на рух кульки

ти дослід, кулька пройде ще більший відрізок шляху, тому що опір рухові кульки у даному випадку — найменший (рис. 80, в).

Ці досліді підтверджують, що причиною зменшення швидкості кульки та її зупинки є тертя. І чим воно менше, тим більший шлях проходить кулька. Тоді, якщо уявити, що тертя незначне і ним можна знехтувати, *кулька рухатиметься прямолінійно і рівномірно як завгодно довго* (поки на неї не подіють інші тіла та не змінять її швидкість). Таку закономірність вперше встановив Г. Галілей. У 1638 р. він зробив висновок: *рух будь-якого тіла у природі триває доти, доки інше тіло не змінить його*.

Так було встановлено, що *всі тіла в природі зберігають стан спокою або рівномірного прямолінійного руху за відсутності дії на них інших тіл*. Сформульований висновок називається *законом інерції*.

Отже, *інерція — це явище збереження тілами свого руху за умови відсутності дії на них інших тіл*.

Рух тіла, на яке не діють інші тіла, називається *рухом за інерцією*.

**2. Прояви явища інерції.** Прояви явища інерції повсюдні. Воно має місце, коли ми рубаємо дрова, струшуємо краплі дощу з плащу або парасолі, збиваємо покази медичного термометра. Дуже часто ми відчуваємо його на собі. Кожний з вас, мабуть, помічав, що, коли ми спотикаємося, то найчастіше за все нахиляємося уперед (рис. 81, а). Це відбувається тому, що у цей момент наші ноги різко зупиняються, а верхня частина тулубу внаслідок явища інерції продовжує рухатися в попередньо-

*Інерція — від латинського слова *inertia* — бездіяльність, косність*

*Закон інерції виявився першим кроком у встановленні законів механіки і є одним з основних законів природи*



а)

Рис. 81, а



б)



в)

Рис. 81. Прояви явища інерції

*Оскільки інертність мають всі тіла в природі, то це означає, що така «всезагальна властивість» є проявом певного фізичного явища — інерції.*

му напрямі. З тієї ж причини уперед падає велосипедист, якщо велосипед наїжджає на перешкоду (рис. 81, б). Якщо ж автобус різко рушає із зупинки, то його пасажир, навпаки, нахилиється назад. Після падіння на льоду, ви протягом певного часу ковзати-мете по ньому — це теж рух за інерцією. Цікаво, що прояви явища інерції можна побачити й у тваринному світі: зокрема, завдяки інерції, тварини струшують з шерсті краплини води або сніжинки (рис. 81, в).

**3. Інертність тіла і маса.** Спостереження за рухом тіл після їх взаємодії свідчать, що кожне з них поводить себе по-різному: одне тіло набуває більшої швидкості (тобто швидше змінює свою швидкість), інше — меншої (тобто зберігає свою швидкість довше). Наприклад, якщо під час катання на ковзанах ви зіштовхнетесь з дорослою людиною, то відкотитесь значно далі ніж вона, тобто отримаєте більшу швидкість. Це означає, що у різних тіл інертність — різна. Очевидно, що інертність тіла, яке після взаємодії з іншим тілом набуває меншої швидкості, є більшою за інертність іншого тіла. І навпаки: інертність тіла, що після взаємодії набуває більшої швидкості — менша. У наведеному прикладі інертність дорослої людини є більшою.

*Властивість тіл зберігати свою швидкість у відсутність дії на них інших тіл називають інертністю. Інертні всі тіла. Існування у природі тіл, які не є інертними, не встановлено.*

Отже, ми встановили, що більш масивні тіла більш інертні. Відповідно, менші тіла є менш інертними. Можна зробити висновок:

інертність тіл може бути охарактеризована за допомогою *маси* — фізичної величини, яка вам вже відома з курсів математики і природознавства та з повсякденного досвіду (її позначають літерою  $m$ ).

*Маса тіла — це фізична величин, яка є мірою його інертності.*

Внаслідок того, що тіла мають властивість інертності, змінити їх швидкість у разі руху миттєво неможливо; ця зміна відбувається поступово, з часом. Наприклад: поступово збільшується швидкість м'яча внаслідок удару по ньому; поступово змінюється швидкість потягів і автомобілів, коли вони рушають із місця або зупиняються; поступово набирає швидкості спортсмен на старті забігу та поступово зупиняється після фінішу (рис. 82, а). І так відбувається з кожним тілом: скрізь і завжди!

Інертність може бути досить шкідливою. Зокрема, забороняється різко піднімати вантаж за допомогою підйомного крану внаслідок інертності вантажу (рис. 82, б). Неможливо також швидко зупинити рухомі деталі станка, якщо раптом виникла аварійна ситуація. Знаючи про властивість інертності, людина повинна бути дуже обережною!

Важливо, що маса характеризує не лише інертні властивості тіла, але й ще одну важливу властивість тіла — його здатність взаємодіяти з іншими тілами, зокрема, із Землею. Це можна підтвердити на такому прикладі: якщо на батут стануть дитина і доросла людина, то доросла людина розтягне його сильніше (рис. 83). А чому взагалі батут розтягується? Тому що, як ви вже

*Маса тіла характеризує його інертні властивості*



а)



б)

**Рис. 82.** Внаслідок інертності неможливо миттєво змінити швидкість тіла



**Рис. 83.** Маса характеризує властивість тіла притягуватися до Землі

*Маса тіла — це й міра його властивості притягуватися до Землі та інших тіл.*

знаєте, всі тіла притягуються до Землі. Це означає, що доросла людина, яка має більшу масу, притягується до землі сильніше. Отже, маса характеризує властивість тіл притягуватися до Землі (та інших тіл).

#### Висловіть свою думку

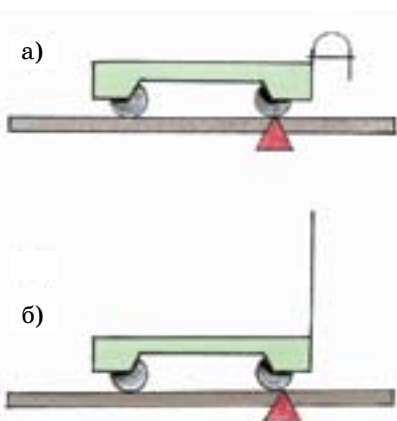
Чому не можна переходити проїжджу частину перед транспортними засобами, що швидко рухаються?

**4. Яким чином можна оцінити інертність тіла та виміряти його масу?** Оцінювання інертності тіла — це важливе завдання, оскільки її слід враховувати на транспорті, на виробництві, у побуті.

Звернемося до дослідів із візками, що можуть взаємодіяти. Нехай на платформі знаходиться візок із прикріпленою до нього з одного боку пружною пластинкою; пластинка зігнута і в такому стані закріплена ниткою. Візок перебуває у стані спокою відносно стола (рис. 84, а). Чи почне він рухатися, якщо перепалити нитку? (рис. 84, б). Виявляється, що ні, оскільки відсутня його взаємодія з іншим тілом (візком).

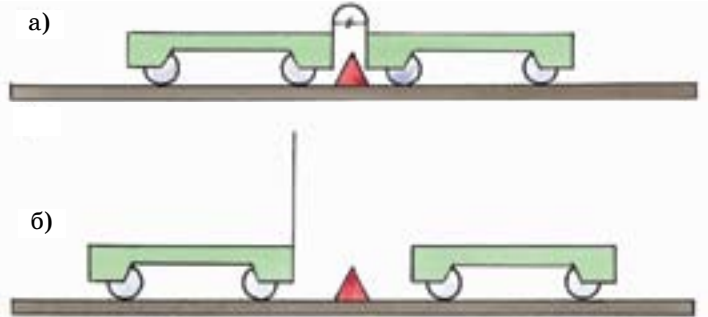
Повторимо дослід: знову зігнемо пластинку, зв'яжемо її ниткою і з іншого боку пластинки поставимо ще один такий самий візок (рис. 85, а).

Якщо знову перепалити нитку, то можна впевнитися в тому, що в результаті взаємодії візки набувають однакової швидкості. Як видно з рис. 85, б, вони проходять однакові відстані від початкового положення. Це означає, що інертність одного візка та інертність іншого візка є однаковими. Але ж мірою інертності візків є їх маса! Тому можна зробити висновок, що й маси цих віз-



**Рис. 84.** Візок не взаємодіє з іншими тілами, а тому не набуває швидкості і не рухається

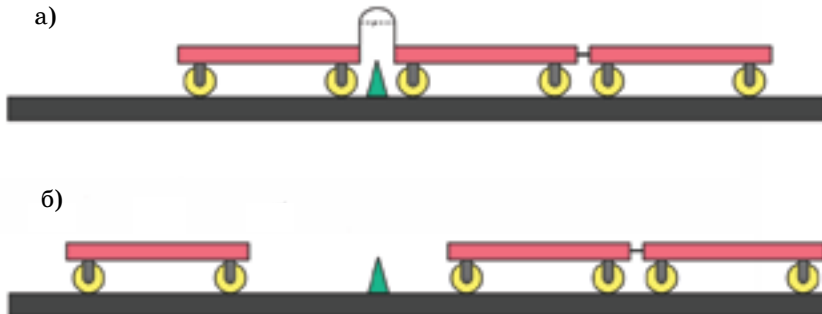




**Рис. 85.** В результаті взаємодії візки з однаковими масами набувають однакої швидкості і проходять однакові відстані

ків теж дорівнюють одна одній:  $m_1 = m_2$ , де  $m_1$  — маса одного візка,  $m_2$  — маса іншого візка.

Продовжимо дослід. Приєднаємо до одного із візків ще один візок і приведемо їх у взаємодію (рис. 86, а). Очевидно, що у цьому випадку один візок взаємодіятиме з двома іншими візками як єдиним тілом. Можна впевнитися, що внаслідок взаємодії один візок проходить вдвічі більшу відстань, ніж два інші, разом взяті (це видно з рис. 86, б). Отже, внаслідок взаємодії тіло, яке має вдвічі більшу масу, проходить вдві-



**Рис. 86.** В результаті взаємодії візки з різними масами набувають різних швидкостей і проходять різні відстані



*Маси тіл обернено пропорційні до швидкостей, яких вони набувають під час взаємодії*



Рис. 87. Міжнародний зразок (еталон) кілограма

чі меншу відстань, тобто набуває вдвічі меншої швидкості.

Досліди з візками показують, що, порівнюючи швидкості тіл, яких вони набувають після взаємодії (до якої перебували у стані спокою), можна визначити, у скільки разів маса одного тіла більша від маси іншого. У такий спосіб можна не лише оцінити інертність тіла, але й виміряти його масу. Для цього тіло треба привести у взаємодію з іншим тілом, маса якого відома або може бути взята за еталон.

#### Висловіть свою думку

Катаючись на роликкових ковзанах дві дівчинки посперечалися, хто з них має більшу масу. Як вони можуть це перевірити, маючи тільки рулетку?

**5. Одиниця маси.** Одиниця маси була встановлена у 1889 р. на III Генеральній конференції з мір та ваги. За одиницю маси прийнято 1 кілограм (скорочено 1 кг). Це маса тіла, міжнародний зразок (еталон) якого зберігається у Франції, в м. Севрі, що поблизу Парижа (рис. 87). Еталон кілограма відлитий у вигляді циліндричної гирі діаметром і висотою 39 мм із сплаву двох металів: платини (90 %) та іридію (10 %). Для зберігання еталону створені спеціальні умови; з нього знято точні копії, які знаходяться в різних країнах.

В Міжнародній системі одиниць (СІ) 1 кг — це основна одиниця маси. Користуються також кратними й дольними одиницями маси. Наприклад,

$$1 \text{ т (тонна)} = 1000 \text{ кг;}$$

$$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г;}$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг;}$$

$$1 \text{ мг} = 0,000\,001 \text{ кг та інші.}$$

**5. Маса — особлива фізична величина.** З'ясуємо, у чому ж полягають особливості маси? Візьмемо дві посудини з водою, маса якої у кожній з них дорівнює 1 кг, і зіллємо цю воду в одну посудину. Експериментальна перевірка покаже, що маса води в останній дорівнюватиме 2 кг. Цей дослід дозволяє встановити важливий факт: *маса тіла дорівнює сумі мас окремих його частин*. При поділі тіла на окремі частини сума їх мас також дорівнює масі тіла, з якого ці частини утворилися.

З цього факту випливає один із основних законів природи — *закон збереження маси*. Закон збереження маси є одним із найзагальніших і найважливіших законів природи. Цей закон справджується у всіх фізичних, хімічних і біологічних явищах. Тому його враховують в усіх природничих науках, а також у техніці та на виробництві.

Вивчаючи фізику, ви дізнаєтеся про багато інших особливостей маси як фізичної величини.

*Сума мас окремих частин тіла за їх сполучення та поділу — зберігається.*



а)

### Розширте науковий кругозір

Спорт теж тісно пов'язаний із фізикою! Зокрема, явище інерції враховується у багатьох видах спорту. Найбільш наочно рух за інерцією виявляється у такому олімпійському виді спорту, як керлінг. Перемога у керлінгу залежить від руху за інерцією важкої гранітної шайби. Саме тому лід на шляху цієї шайби ретельно зачищується за допомогою спеціальних щіток (рис. 88, а). Рух за інерцією здійснює куля й у такій спортивній грі, як боулінг (рис. 88, б).



б)

**Рис. 88.** Явище інерції у спорті

### Історія фізики: вчені і факти



**Рис. 89.** Галілео Галілей виступає у Римі перед членами Академії

**Галілео Галілей** — великий італійський фізик, механік, астроном, художник і літературний діяч. Як ви вже знаєте, ім'я Галілея пов'язане, насамперед, з першими спостереженнями за допомогою телескопа. Але особливе значення для фізики мали роботи Галілея з механіки. Він вперше висунув ідею про відносність руху, строго сформулював поняття швидкості, дослідив коливання маятника, встановив закон інерції і застосував його до розв'язання практичних задач. Цей закон був для свого часу революційним, оскільки тоді панувала ідея Аристотеля, згідно якої тіло може рухатися лише за умови дії на нього інших тіл.

Але Галілей вихідним пунктом пізнання вважав спостереження і непорушним істинам біблійського писання протиставляв експериментальні факти, одержані шляхом дослідження законів природи. Церква не підтримувала погляди Галілея і переслідувала його, але він сміливо їх відстоював і продовжував свої дослідження. Світ був для Галілея відкритою книгою! Його вплив на подальший розвиток механіки, оптики і астрономії виявився величезним і виключно плідним. Про Галілея кажуть: «Він умів ламати старе і створювати нове».

### Домашнє експериментальне завдання

Підготуйте пластмасову лінійку та невелику кульку (можна скористатися кулькою для настільного тенісу або намистиною). Покладіть лінійку на гладку поверхню стола і встановіть на одному з її кінців кульку так, щоб вона перебувала у стані спокою, але не була закріпленою. Виконайте такі дії:

1. Повільно і плавно підштовхуючи лінійку з кінця, протилежного до того, на якому знаходиться кулька, надайте їй по можливості прямолінійного рівномірного руху. Спостерігайте за станом кульки і зафіксуйте одержаний результат.

2. Різко підштовхніть лінійку з кінця, протилежного до того, на якому знаходиться кулька. Спостерігайте за станом кульки і зафіксуйте одержаний результат.

Виконаний експеримент опишіть у робочому зошиті. Зробіть рисунки експерименту. Обґрунтуйте одержані результати.

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Що може відбуватися з рухомим тілом, яке не зазнає дії інших тіл? Для пояснення використайте описаний у параграфі дослід із жолобом і кулькою.
2. За яких умов тіло може перебувати у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху? Наведіть приклади.
3. Яке явище називається інерцією? У чому виявляється така властивість тіл, як інертність? Назвіть приклади з практики людини, коли вона у своїх діях враховує інерцію.
4. Що є мірою інертності тіла? Назвіть цю величину і дайте їй означення.
5. Які властивості тіл характеризує маса?
6. В яких одиницях вимірюють масу? Що ви знаєте про еталон одиниці маси?
7. Як оцінюють інертність тіла і вимірюють його масу? Відповідь поясніть.

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 15.**

1. Обґрунтуйте, що дія одного тіла на інше не є односторонньою.
2. Два тіла мають різні маси. Чи можна стверджувати, що інерція тіла з більшою масою — більша. Відповідь обґрунтуйте.
3. На рис. 90 показано два способи насадження лопати на держак (ручку). Опишіть ці способи.



**Рис. 90.** Два способи насадження лопати на держак

4. Поясніть, чому автомобіль з несправними гальмами не можна буксирувати за допомогою гнучкого троса?
5. Виконайте рисунок і за його допомогою поясніть, чому на поворотах необхідно зменшувати швидкість автомобіля, мотоцикла, велосипеда?

## § 16. СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ МАС

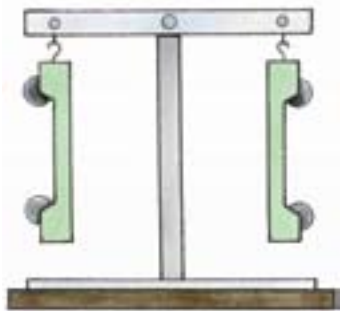


Рис. 91. Зрівноваження терезів однаковими за масою візками



а)



б)

Рис. 92. Обладнання для вимірювання маси методом зважування: а) важільні терези; б) набір гир

**Метод зважування.** Виконуючи досліди з візками (рис. 85), ми встановили, що в результаті взаємодії візки набувають однакової швидкості, оскільки їх маси є однаковими. Закріпимо ці однакові за масою візки на кінцях коромисла важільних терезів (рис. 91): терези перебуватимуть у рівновазі. З цього можна зробити зворотній висновок: *якщо маси тіл, покладених на шальки терезів, однакові, то терези перебувають у рівновазі.*

На цьому важливому висновку ґрунтується метод визначення маси тіл, який називають *методом зважування*. На практиці масу невідомого тіла визначають, порівнюючи її з масою еталона — тіла з відомою масою. Прикладом цього є зважування на важільних терезах (рис. 92, а) за допомогою гир (важків), маси яких відомі (рис. 92, б). Під час зважування виходять з того, що тіла з однаковими масами діють на терези однаково. А отже, маса невідомого тіла дорівнює масі гир, зрівноважених з ним. Є й інші способи вимірювання маси тіл, про які ви дізнаєтеся при подальшому вивченні фізики.

**2. Принципи дії терезів, їх види та призначення.** За принципом дії терези є різні, зокрема: *важільні*, у яких вимірювання маси здійснюється методом порівняння цієї маси з еталонними гирями; *пружинні*, у яких маса вимірюється за розтягом пружини. Способи і правила зважування на різних терезах відрізняються.

Терези бувають різних видів: аптекарські (рис. 93, а), лабораторні (рис.93, б), вагонні (рис. 94, в), електронні (рис. 94, б), аналітичні (рис. 94, а) та інші. Кожний із видів терезів призначений для зважування різних тіл: як дуже великих мас, так і дуже маленьких. Так, наприклад, за допомогою вагонних ваг (рис. 94, в ) можна визначити масу вагона чи вантажівки до 150 т. Маси тіл, які мають дуже маленькі розміри, визначають за допомогою аналітичних ваг (рис. 94, а).

Проте визначити масу за допомогою терезів можна не завжди. Зокрема, не можна зважити дуже малі і дуже великі тіла, тому що не існує відповідних терезів. У таких випадках маси тіл можна визначити лише шляхом порівняння зміни їх швидкостей при взаємодіях.



а)



б)

Рис. 93. Важильні терези



а)



б)



в)

Рис. 94. Пружинні терези

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що покладено в основу вимірювання мас методом зважування?
2. Як відрізняються терези за принципом дії?
3. Які види терезів ви знаєте? Яке призначення кожного з цих видів терезів?
4. Наведіть приклади вимірювання мас різних тіл за допомогою терезів.
5. Чи завжди можна визначити масу тіла за допомогою терезів? Якщо ні, то як поступають у такому випадку?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 16.

1. Поясніть, на якому важливому висновку ґрунтується метод визначення маси тіл.
2. Вам вже відомо, що за принципом дії є два типи терезів. Обґрунтуйте, в чому полягає відмінність у вимірюванні маси різними типами терезів.
3. Ви купили у супермаркеті 1 кг хліба, 5 кг картоплі, 1 кг 500 г рису, 150 г сиру, 250 г сметани, 400 г масла і 2 кг 300 г м'яса. Які гирі вам треба взяти, щоб перевірити загальну масу своєї покупки на важільних терезах?
4. Тіло зрівноважене набором гир 100 г + 20 г + 10 г + 1 г. Чому дорівнює маса тіла? Якою є похибка вимірювання маси цим набором гир?
5. Маса тіла при зважуванні становила близько 25 г. Похибка зважування на даних терезах 2 %. З якою точністю слід провести вимірювання? Чи є сенс у цьому випадку користуватись гирками в 100 мг? 50 мг?
6. На одну шальку терезів помістили тіло, а на іншу — такий набір гир: 3 кг, 500 г, 200 г, 100 г, 50 г, 20 г, 20 г, 10 г. Після цього шальки терезів зрівноважилися. Яка маса тіла у кілограмах?
7. Одиниця маси, як і одиниця довжини, спочатку встановлювалась за природними еталонами. Найчастіше таким еталоном була маса зернини. Так, наприклад, масу дорогоцінних каменів досі визначають у *каратах* (0,2 г) — це маса насінини одного із видів бобів. Виразіть масу алмаза у каратах, якщо вона дорівнює 1000 мг.
8. У Київській Русі одиницею маси була *гривна* (409,5 г). Для визначення більших мас застосовувався *пуд* (16,38 кг), а менших — *золотник* (4,3 г). Виразіть масу тіла у золотниках, гривнах та пудах, якщо вона дорівнює 50 кг.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### Вимірювання маси тіл методом зважування

#### *Мета роботи:*

Навчитись користуватися важільними терезами та визначати за їх допомогою маси тіл.

*Прилади і матеріали:* 1) важільні терези; 2) набір гир різної маси (різноважки); тіла для зважування (наприклад, гайка, гумка або олівець).

#### Теоретичні відомості

*Важільні терези* (рис. 95) — досить точний прилад, який вимагає спеціальних правил його використання (див. додаток І) та обережного поводження з ним. Основною частиною важільних терезів є коромисло — стержень, який може вільно повертатися навколо осі, розміщеної посередині нього. До кінців коромисла підвішені шальки. Якщо маси тіл, що лежать на шальках, однакові, терези перебувають у рівновазі. На цьому й ґрунтується визначення маси тіла за допомогою терезів. При зважуванні на важільних терезах використовують так званий нульовий метод: на одну шальку терезів (ліву) кладуть тіло, яке зважують, на іншу (праву) — гирі. Гир повинно бути стільки, щоб стрілка терезів зупинилася на нульовій позначці шкали, або, продовжуючи коливатися, відхилялась від положення рівноваги (нуля) на однакові кути в обидва боки. Визначають загальну масу гир, які зрівноважують тіло. Маса тіла дорівнює масі цих гир.



Рис. 95. Важільні терези з набором гир

#### Порядок виконання роботи

1. Ознайомтеся з теоретичними відомостями і правилами зважування (див. додаток І).
2. Розгляньте гирі та обчисліть значення загальної маси всіх гир від найбільшої до найменшої.
3. Визначте межі (верхню та нижню) вимірювання маси вантажу, який можна зважувати на даних терезах (за написом на коромислі). Результати запишіть у робочий зошит.

4. Ознайомтеся з правилами визначення межі похибок при вимірюваннях за допомогою терезів (див. додаток II) та написами на коромислі терезів. Результати запишіть у робочий зошит.

5. Дотримуючись правил зважування, визначте масу гайки (*дослід №1*). Результат вимірювання запишіть у таблицю 8.

6. Виміряйте масу іншого тіла (*дослід 2*). Результат вимірювання запишіть у таблицю 8. Визначте похибку вимірювання, результат і точність зважування (див. додаток II). Результати обчислень запишіть у таблицю 8.

7. Зробіть висновки щодо:

— методу вимірювання маси тіла, з яким ви ознайомились при виконанні лабораторної роботи, та точності зважування цим методом;

— експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

**Результати вимірювань і обчислень (до лабораторної роботи № 6)**

*Таблиця 8*

Номер досліджу	Набір важків, що зрівноважують тіло, г	Маса тіла, г	Похибка вимірювання, г	Результат вимірювання, г
1.	Гайка			
2.				

### Додаток I

#### Правила зважування тіл на важільних терезах

1. Перед зважуванням переконайтеся, що терези зрівноважені. У разі потреби для встановлення рівноваги на лівшу шальку покладіть шматочки паперу, картону й т.п.

2. Футляр з гирями і пінцетом розмістіть праворуч від терез. Тіло, яке зважують, кладуть на ліву шальку, гирі — на праву.

3. Відкрийте футляр з гирями і зніміть скло, поклавши його перед футляром. Запам'ятайте, як укладені в футлярі пінцет і гирі.

4. Дрібні гирі слід брати тільки пінцетом за верхню частину.

5. Поклавши зважуване тіло на ліву шальку, на праву покладіть гирю, маса якої є близькою до маси тіла. Якщо гиря перетягує шальку, поставте її назад у футляр, якщо не перетягує — залиште на шальці. Далі

виконайте такі самі дії з наступною гирею (вона повинна бути меншою за попередню) і продовжуйте доти, доки не буде досягнуто рівноваги.

6. Зрівноваживши тіло, підрахуйте загальну масу гир, що лежать на шальці терезів. Після цього складіть гирі у футляр і закрийте їх склом. Перевірте, чи всі гирі покладено на відповідні місця у футлярі. Вкладіть у футляр пінцет та закрийте футляр.

Не дозволяється:

1. Зважувати тіла, маса яких більша за гранично допустиму масу, зазначену на терезах.

2. Класти на шальки терезів брудні, мокрі, гарячі тіла, насипати без підкладки порошки, наливати рідини.

3. Кидати тіло або гирі на шальку терезів.

## **Додаток II**

### **Похибка зважування**

1. Важільні терези відрізняються від мензурки, лінійки, секундоміра, термометра тим, що вони не мають шкали, тому при застосуванні терезів не має місця таке поняття, як ціна поділки шкали.

2. Найменше значення, яке можна зафіксувати на терезах, визначається за найменшою гирею з набору для зважування.

3. Кожні терези, залежно від їх конструкції, забезпечують ту чи іншу точність зважування. Це залежить від похибки засобу вимірювання. Для шкільних терезів похибка засобу вимірювання дорівнює 10 мг у межах зважування від 10 г до 20 г і 200 мг у межах від 20 г до 200 г (тобто від 5 до 10 % від верхньої межі зважування).

### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає так званий нульовий метод зважування на важільних терезах?

2. Тіло зрівноважено набором гир масою 100 г; 20 г; 10 г. Яка маса тіла? Яка похибка вимірювання?

### **Додаткове завдання**

Запропонуйте метод визначення маси краплини води за наявності важільних терезів, гир, склянки з водою, порожньої склянки та піпетки.

## § 17. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ



**Рис. 96.** Дослід підтверджує, що при однакових об'ємах маси тіл залежать від виду речовин, з яких вони виготовлені



**Рис. 97.** Дослід підтверджує, що тіла однакової маси, виготовлені з різних речовин, мають різні об'єми

*Співвідношення між масою і об'ємом тіл, що, виготовлені з різних речовин, є різними.*

**1. Поняття про густину речовини.** Спостереження і досліди свідчать, що *тіла, виготовлені з різних речовин, за однакових об'ємів мають різні масу.* Наприклад, якщо за допомогою терезів визначити маси алюмінієвого і свинцевого циліндрів однакового об'єму, то маса свинцевого циліндра виявиться в чотири рази більшою, ніж маса алюмінієвого (рис. 96).

І навпаки, якщо тіла, виготовлені з різних речовин, мають однакові маси, то їх об'єми будуть різними. Наприклад, покладений на шальку терезів невеликий алюмінієвий циліндр можна зрівноважити склянкою з водою, об'єм якої майже в три рази більший (рис. 97).

Для встановлення співвідношення між масою та об'ємом речовини вводять фізичну величину — *густину*. Густина речовини показує, чому дорівнює маса даної речовини в одиниці об'єму (в  $1 \text{ м}^3$  або  $1 \text{ см}^3$ ).

Відношення маси тіла до його об'єму для даної речовини є величиною сталою і важливою характеристикою цієї речовини.

### 2. Визначення густини речовини.

*Густиною речовини називається фізична величина, яка визначається відношенням маси речовини до її об'єму:*

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

Густина позначається грецькою літерою  $\rho$  (читається «ро»), тоді

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

де  $\rho$  — густина речовини,  $m$  — маса тіла,  $V$  — об'єм тіла.

В СІ одиницею густини є  $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Густи-  
ну речовини виражають також у грамах на  
кубічний сантиметр ( $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ). Щоб виразити,  
наприклад, масу чавуну в цих одиницях,  
треба перевести кілограми у грами, кубічні  
метри — у кубічні сантиметри. Виконаємо  
відповідні обчислення:

$$\begin{aligned} 7000 \text{ кг} &= 7\,000\,000 \text{ г;} \\ 1 \text{ м}^3 &= 1\,000\,000 \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Тоді густина чавуну дорівнює:

$$\rho = \frac{7\,000\,000 \text{ г}}{1\,000\,000 \text{ см}^3} = 7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

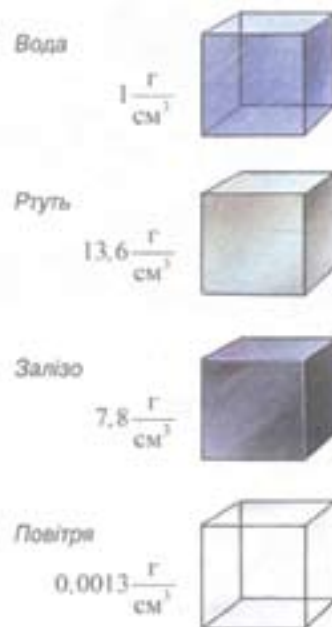
З означення густини випливає, що вона  
дорівнює масі одиниці об'єму речовини  
(рис. 98).

*Значення густини речовини залежить  
від температури і зменшується з її підви-  
щенням.*

Густину різних речовин можна визначи-  
ти з таблиць, які вміщені у довідниках та  
збірниках задач.

Густины деяких речовин подано в таб-  
лиці 9.

Таблиця густин дає можливість визна-  
чити вид речовини, з якої виготовлене тіло,  
без проведення хімічного аналізу. Для цьо-  
го достатньо виміряти масу і об'єм тіла, об-  
числити густину і, скориставшись табли-  
цею густин, визначити вид речовини.



**Рис. 98.** З рисунку видно, що  
маса  $1 \text{ см}^3$  води дорівнює 1 г,  
ртуті — 13,6 г, заліза 7,8 г,  
повітря — 0,0013 г

## Густина деяких речовин

Таблиця 9

Речовина	Густина речовини ( $\rho$ )	
	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
<b>Гази</b>		
Азот	1,250	0,00125
Повітря (при 0 °С)	1,290	0,00129
Вуглекислий газ	1,977	0,00197
<b>Рідини</b>		
Ртуть	13600	13,6
Бензин	710	0,71
Спирт	790	0,79
Гас, нафта	800	0,80
Вода (при 4 °С)	1 000	1,00
<b>Тверді тіла</b>		
Корок	200	0,20
Сосна	440	0,44
Дуб	850	0,85
Лід	900	0,90
Скло	2 500	2,50
Алюміній	2 690	2,69
Залізо	7 900	7,90
Мідь	8 600	8,60
Срібло	10 500	10,50
Ртуть	13 600	13,60
Золото	19 300	19,30

Наведемо приклад розв’язування задачі на визначення густини речовини.

*Приклад 1.* Однорідний металевий циліндр об’ємом  $160 \text{ см}^3$  має масу 432 г. Визначити густину металу в  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  і  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Встановити назву металу, з якого виготовлений циліндр.

Дано:

$$V = 160 \text{ см}^3 = 0,000160 \text{ м}^3$$

$$m = 432 \text{ г} = 0,432 \text{ кг}$$

$\rho$  — ?

Розв'язання

Скористаємося формулою для визначення густини речовини:  $\rho = \frac{m}{V}$ . Підставивши у цю формулу значення маси і об'єму тіла, отримаємо значення густини речовини:

Обчислення:

$$\rho = \frac{0,432 \text{ кг}}{0,000160 \text{ м}^3} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Скориставшись таблицею 9, встановлюємо, що таку густину має алюміній.

Відповідь: густина речовини тіла дорівнює  $2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  (або  $2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ). Циліндр виготовлено з алюмінію (Al).

**3. Вимірювання густин рідких тіл.** Густина рідин визначають за допомогою приладу, який має назву *ареометра* (рис. 99). Вважається, що ареометр був винайдений ще на початку нашої ери (близько 400 р.).

Корпус ареометра виготовлений зі скла. У верхній частині ареометр забезпечений шкалою, проградуєваною в одиницях густини. Для практичних потреб використовуються різновиди ареометра, зокрема:

— спиртометр — визначає міцність напою;

— лактометр — визначає відсоток жиру у молоці, тобто контролює його якість;

— солемір — визначає концентрацію розчину солі;

— цукромір — визначає концентрацію розчину цукру.

*Ареометр — від грецьких слів **araios** — рідкий, **metreo** — міряю).*



Рис. 99. Ареометр — прилад для вимірювання густин рідин



### Спробуйте зробити власноруч

Оскільки ареометр виготовлений зі скла, то він може несподівано розбитися. Але його дуже просто виготовити зі звичайної кулькової ручки та пластмасової пляшки (наприклад, від крапель для носу або очей). Як це зробити, ви можете дізнатися з мережі Інтернет.

### Фізичне знання в техніці

Сьогодні все більшого поширення набувають цифрові ареометри (або густиніміри), які призначені для вимірювання густин не лише рідин, але й газів (рис. 100). Такі пристрої забезпечують швидкі і точні вимірювання, запобігають ризику роботи зі скляними ареометрами, дозволяють вимірювати густини у більш широкому діапазоні. Важливо, що результати вимірювань цифровими густинімірами можна пересилати на портативні і стаціонарні комп'ютери, що дозволяє створювати бази даних. Передові технології та висока якість таких приладів забезпечують їх максимальну надійність.



**Рис. 100.** Сучасні цифрові ареометри (густиноміри)

### Подумайте і дайте відповідь

1. Як можна експериментально підтвердити, що тіла однакового об'єму, виготовлені з різних речовин, мають різні маси, і навпаки, при однаковій масі — різні об'єми? (для відповіді скористайтесь рис. 96, 97.)
2. Що називається: густиною речовини?
3. За якою формулою обчислюють густину речовини?
4. У яких одиницях вимірюється густина речовини?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 17.

1. Як за допомогою таблиці густин речовин можна визначити вид речовини, з якої виготовлене тіло, без проведення хімічного аналізу.
2. Розміри цеглини  $250 \times 120 \times 65$  мм, маса цеглини 3,6 кг. Знайдіть її густину.
3. Виведіть співвідношення між одиницями густини  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  і  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .
4. Обчисліть густину бджолиного меду, якщо у банку місткістю 3 л вміщується 4,5 кг меду.
5. Срібна столова ложка має масу 126 г і об'єм  $12 \text{ см}^3$ . За цими даними обчисліть густину срібла. Користуючись табл. 9, перевірте одержаний результат.

## § 18. ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ І ОБ'ЄМУ ТІЛА ЗА ЙОГО ГУСТИНОЮ

**1. Визначення маси тіла за його густиною та об'ємом.** На практиці відомості про густину речовини часто бувають необхідні для розрахунків мас (або об'ємів) тіл, які з цієї речовини будуть виготовлені.

Розглянемо окремі приклади розрахунків маси і об'єму тіл, якщо відомо, з яких речовин вони виготовлені.

*Приклад 1.* Чому дорівнює маса гасу в залізничній цистерні об'ємом  $80 \text{ м}^3$ ?

*Під час конструювання машин, суден, літаків, ракет тощо важливо знати їх масу для визначення конструктивних особливостей та можливих витрат палива*

$$m = \rho V$$

*Дано:*

$$V = 80 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{г}} = 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$m$  — ?

*Розв'язання*

Шукану масу знаходимо з формули для визначення густини речовини:  $\rho = \frac{m}{V}$ , тоді  $m = \rho V$ .

*Обчислення:*  $m = 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 80 \text{ м}^3 = 56800 \text{ кг} = 56,8 \text{ т.}$

*Відповідь:* маса гасу в цистерні дорівнює 56,8 т.

**2. Визначення об'єму тіла за його густиною та масою.**

*Приклад 2.* Який об'єм має латунний циліндр масою 5,1 кг?

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

*Дано:*

$$m = 5,1 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{л}} = 86500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$V$  — ?

*Розв'язання*

Шуканий об'єм знаходимо з формули для визначення густини речовини:  $\rho = \frac{m}{V}$ , тоді  $V = \frac{m}{\rho}$ .

*Обчислення:*  $V = \frac{5,1 \text{ кг}}{86500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,0006 \text{ м}^3.$

*Відповідь:* об'єм циліндра дорівнює 0,0006  $\text{м}^3$ .

**ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ****Що розуміють під однорідною і неоднорідною речовинами?**

Речовина, що має однакову густину в усьому об'ємі, отримала назву *однорідної речовини*. Але у багатьох випадках речовини мають різну густину у різних частинах об'єму (суміші, розчини тощо). Такі речовини називаються *неоднорідними*. Для неоднорідних речовин визначають *середню густину*.

Приклади значення середніх густин неоднорідних речовин наведено в *табл. 10*.

Середня густина деяких неоднорідних речовин

Таблиця 10

Речовина	Густина
Ядро атома	$10^{17}$
Нейтронна зоря	$10^{17}$
Тіло людини	$1,07 \cdot 10^3$
Земля	$5,5 \cdot 10^3$
Міжзоряний газ	$10^{-20}$
Сплави із срібла і золота	$10,5 \cdot 10^3 — 19,3 \cdot 10^3$

**Фізичні дослідження в Україні**

Не складно зрозуміти, що залежно від густини речовина є більш або менш міцною. Сьогодні міцні матеріали користуються найбільшим попитом у різних галузях техніки. В Україні над проблемами створення таких матеріалів працюють співробітники Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної Академії наук (м. Київ). Учені розробляють технології одержання і використання штучних алмазів та твердих сплавів. З таких матеріалів виготовляються інструменти для обробки металів, каменю, буріння нафтових і газових свердловин.

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Як обчислити масу тіла за відомими густиною речовини, з якої воно виготовлене, та об'ємом тіла?
2. Як обчислити об'єм тіла за відомими густиною речовини, з якого воно виготовлене, та масою тіла?
- 3\*. Які речовини називають однорідними? неоднорідними?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 18.**

1. Три кубики — з алюмінію, заліза та міді — мають однаковий об'єм. Визначте, який з них має найменшу масу, а який — найбільшу? Густини речовин визначте з табл. 9.
2. Обчисліть масу нафти у цистерні об'ємом  $65 \text{ м}^3$ . Густину нафти визначте з табл. 9.
3. Яка маса повітря в кімнаті розмірами  $6,3 \times 3,8 \times 2,8 \text{ м}$  при  $0^\circ\text{C}$ ? Густину повітря визначте з табл. 9.
4. Щоб визначити ємність посудини складної форми, її зважили, потім повністю наповнили водою і знову зважили. Виявилося, що маса порожньої посудини  $17 \text{ кг}$ , маса посудини з водою —  $86 \text{ кг}$ . Знайдіть ємність посудини.
5. У мензурку налито води (рис. 101). Визначте масу води у мензурці.



**Рис. 101.**

Мірний циліндр з водою

**ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ**

**Як визначають маси космічних тіл?**

Із засобів масової інформації та з мережі Інтернет ви, мабуть, знаєте, що у листопаді 2014 року космічний апарат «Розетта» наблизився до комети Чурюмова–Герасименко, після чого космічний модуль Philae («Філа») опустився на поверхню комети і закріпився на ній. Але цікаво, що набагато раніше, ніж космічний модуль безпосередньо торкнувся комети, астрономи вже знали її масу. Тоді як це було зроблено, адже масу комети не можна визначити безпосередньо! Справа в тому, що коли космічний апарат проходить поблизу будь-якого космічного тіла, він трохи змінює свій курс під впливом його притягання (як і Земля, усі космічні тіла теж здатні притягувати до себе інші тіла). Це, в свою чергу, призводить до ледве помітних змін у швидкості космічного апарату, які реєструються на Землі. Саме за результатами цих змін і визначається маса космічного тіла, зокрема, комети. Використовуючи результати спостережень за рухом космічного апарату «Розетта» поблизу комети Чурюмова–Герасименко, астрономи оцінили її масу. Вона виявилася рівною близько 10 мільярдів тонн!

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### Визначення густини речовини твердого тіла

#### Мета роботи:

Навчитись визначати густину твердого тіла за допомогою терезів та мірного циліндра (мензурки).

**Прилади і матеріали:** 1) терези; 2) набір гир; 3) мірний циліндр (мензурка); 4) два невеликих твердих тіла, густини яких треба визначити; 5) склянки хімічні; 6) колба з водою; 7) фільтрувальний папір (рис. 102).



Рис. 102. Прилади і матеріали до лабораторної роботи № 7

#### Теоретичні відомості

У попередніх лабораторних роботах ви виконували так звані *прямі вимірювання* — значення вимірюваної величини знаходили безпосередньо за шкалою вимірювального приладу (лінійки, мірного циліндра і ін.) з урахуванням похибки засобу вимірювання.

У цій роботі прямими є вимірювання об'єму тіла та його маси. Ці вимірювання здійснюють з урахуванням відповідних похибок засобів вимірювання. Визначення густини тіла є *непрямим вимірюванням*, оскільки воно здійснюється на основі результатів прямих вимірювань маси й об'єму.

#### Порядок виконання роботи

##### Дослід 1.

1. Виміряйте масу  $m$  досліджуваного тіла за допомогою терезів. Результати вимірювань запишіть у таблицю 12.

2. Визначте об'єм  $V$  досліджуваного тіла за допомогою мензурки, для чого:

- визначте ціну поділки мензурки;
- визначте верхню межу вимірювання мензурою;
- налейте в мензурку стільки води, щоб досліджуване тіло можна було повністю занурити у воду, і виміряйте початковий об'єм води  $V_1$ ; зафіксуйте результат вимірювання;

— прив'яжіть нитку до тіла, об'єм якого вимірюється, опустіть його у мензурку з водою і виміряйте об'єм води із досліджуваним тілом  $V_2$ ; зафіксуйте результат вимірювання;

— визначте об'єм  $V$  досліджуваного тіла як різницю  $V = V_2 - V_1$ .

3. За формулою  $\rho = \frac{m}{V}$  знайдіть густину кожного з тіл у  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  та  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Результати обчислень запишіть у таблицю 12.

4. Скористайтесь табличними значеннями густин різних речовин, порівняйте з ними одержаний результат і визначте, з якої речовини виготовлене досліджуване тіло.

### Дослід 2.

Аналогічним чином визначте густину речовини іншого тіла. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 12.

Результати вимірювань і обчислень  
(до лабораторної роботи № 7)

Таблиця № 12

№ досліду	Назва речовини	Маса тіла $m$ , г	Об'єм тіла $V$ , $\text{см}^3$	Густина речовини $\rho$	
				$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
1.					
2.					

6. Зробіть *висновки* щодо:

- методу визначення густини твердого тіла за непрямыми
- вимірюваннями, який ви використали у процесі виконання лабораторної роботи, та точності вимірювання густини цим методом;
- експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

### Контрольні запитання

1. Поясніть, у чому полягає фізичний зміст поняття густини речовини.
2. Яка відмінність між прямими і непрямыми вимірюваннями фізичної величини?

## § 19. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

*Внаслідок взаємодії може бути спричинений рух тіл або змінений стан руху: одні тіла його сповільнюють, а інші — прискорюють. Взаємодія призводить також до зміни лінійних розмірів і форми тіл (наприклад, удар, стиснення або розтяг).*

*Одним із найбільш загальних проявів взаємодії є явище притягання до Землі тіл, які знаходяться на її поверхні або поблизу неї, тобто явище тяжіння.*



Рис. 104. Взаємодія гвинтів гелікоптера з повітрям

**1. Як проявляється взаємодія тіл? Поняття сили.** Усяка дія одного тіла на інше — це *взаємодія тіл*. Взаємодія тіл проявляється по-різному.

Ви вже знаєте, що взаємодія тіла з іншими тілами приводить до зміни швидкості тіла. Розглянемо кілька прикладів взаємодії тіл.



Рис. 103. Взаємодія людини у човні з водою

Працюючи веслами, людина у човні взаємодіє з водою, відкидаючи її назад (рис. 103). При цьому швидкість човна змінюється і човен рухається вперед.

Гвинти гелікоптера відкидають повітря вниз, внаслідок чого гелікоптер з вантажем піднімається вгору (рис. 104).

Стальна кулька, рухаючись рівномірно і прямолінійно повз магніт (рис. 105), взаємодіє з ним і, як наслідок, змінює напрям і швидкість свого руху.

Внаслідок взаємодії з м'ячем руки або ракетки змінюється напрям руху м'яча (рис. 106).

У всіх розглянутих прикладах тіла (човен, гелікоптер, кулька, м'яч) змінюють свою швидкість внаслідок взаємодії з іншими тілами.



*В одних випадках взаємодія є слабкішою, в інших — сильнішою. Зокрема, швидкість човна залежить від того, наскільки інтенсивно людина працює веслами. А відстань, на яку відлітає тенісний м'яч внаслідок взаємодії з ракеткою, залежить від того, наскільки сильно по ньому вдарили. Вам також досить часто доводиться виконувати дії, що пов'язані з певними зусиллями: щось підняти, зсунути або зупинити. З досвіду ви знаєте, що під час взаємодій зусилля можна прикласти більші або менші.*

*Тому у фізиці для кількісної характеристики взаємодії тіл вводиться поняття сили.*

**2. Сила як фізична величина.** З поняттям сили ви знайомі давно. У мовленні слова, які походять від слова «сила», вживаються постійно: сильна людина, сильний вітер, сильний біль, сильне почуття. Але у чому полягає фізичне поняття «сила»? Для того, щоб визначити силу як фізичну величину, необхідно з'ясувати, яку властивість тіл або яке явище це поняття характеризує.

*Силою називається фізична величина, яка є кількісною мірою взаємодії тіл.*

*Сила характеризується величиною, напрямом і точкою прикладання. На рисунках її зображають стрілкою у певному масштабі, початок якої вміщують у точці прикладання сили. Напрямок стрілки повинен співпадати із напрямом дії сили; довжина стрілки відповідає величині сили з урахуванням масштабу (рис. 107). Отже, сила — векторна величина (як і переміщення та швидкість).*

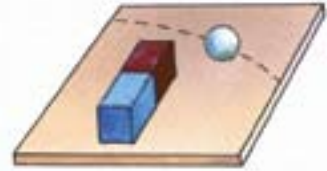


Рис. 105. Взаємодія рухомої сталльної кульки з магнітом



Рис. 106. Момент удару тенісної ракетки по м'ячу

*Сила — кількісна міра впливу на тіло з боку інших тіл.*

*Сили можуть діяти безпосередньо при дотику або на відстані*

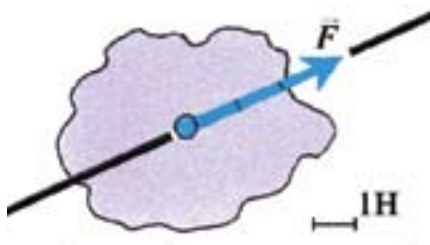


Рис. 107. Графічне зображення сили, що діє на тіло

*Сили завжди виникають попарно: одна сила прикладена з боку першого тіла до другого, а друга — з боку другого тіла до першого*

Силу позначають літерою  $\vec{F}$  зі стрілкою (ви вже знаєте, що над літерами, які позначають векторні фізичні величини, зверху ставиться стрілка).

Одиницею вимірювання сили в СІ є *1 ньютон* (скорочено *1 Н*).

*1 ньютон (1 Н)* — це сила, яка, діючи

на тіло масою *1 кг*, надає йому швидкості  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Ця одиниця названа на честь видатного англійського фізика Ісаака Ньютона (1643–1727).

Зверніть увагу: сила є мірою дії одного тіла на інше. Але ж у взаємодії беруть участь щонайменше два тіла. Тому, коли характеризують взаємодію двох тіл, то розрізняють і дві сили. Про те, що такі сили виникають завжди попарно, свідчить досвід: якщо перепалити нитку, яка утримує стиснену пластинку, то внаслідок взаємодії кожний з візків одночасно зазнає дії сили з боку іншого і, відповідно, набуває руху (рис. 85).

#### Із історії фізики: вчені і факти

**Ісаак Ньютон** (1643–1727) — видатний англійський фізик, математик і астроном. Сформулював основні поняття і закони механіки і застосував їх до руху тіл. Ньютон відкрив також закон всесвітнього тяжіння і розробив теорію руху планет, їх супутників і комет. Ґрунтовні праці написані Ньютоном з оптики та математики. Важливо, що таланти цієї людини виявлялися не лише в науці. Він, зокрема, був директором Монетного двору в Лондоні і провів велику роботу по чеканці монет, що дозволило привести у порядок монетну справу Англії, яка на той час перебувала у занепаді.

## ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Типи фундаментальних взаємодій і сили, які дозволяють їх оцінити

В оточуючому світі можна спостерігати величезну кількість різноманітних видів взаємодій між тілами, починаючи із взаємодій космічних тіл і закінчуючи взаємодіями частинок у молекулах, атомах і ядрах атомів.

Виявляється, що все розмаїття взаємодій між тілами і частинками можна звести до чотирьох типів *фундаментальних взаємодій* (від латинського слова *fundamentum* — основа, опора) Фундаментальними їх називають тому, що вони є основними, через які можна пояснити всі інші взаємодії. Це такі чотири типи взаємодій: *гравітаційна, електромагнітна, сильна і слабка*. Вказані взаємодії відрізняються одна від одної за своєю *природою*.

Сила як кількісна характеристика дозволяє оцінити лише гравітаційну і електромагнітну взаємодії, оскільки сильна і слабка взаємодії відбуваються у мікросвіті на таких малих відстанях, що поняття точки прикладання і напряму дії сили, а, отже, і поняття самої сили втрачають зміст.

**Гравітаційна взаємодія** виникає між усіма тілами без виключення, але найкраще виявляється у світі космічних тіл — тіл величезних мас на величезних відстанях. Якщо ж гравітаційна взаємодія відбувається між тілами з малими масами, то гравітаційні сили є настільки незначними, що ними можна нехтувати. Притягання тіл до Землі і їх падіння — це прояв дії гравітаційних сил.

**Електромагнітна взаємодія** проявляється між електрично зарядженими тілами або частинками. Електромагнітні сили зумовлюють взаємодію атомів і молекул в речовинах. До електромагнітних сил належать сили пружності та сили тертя.

**Сильна взаємодія** відбувається між частинками, з яких складаються ядра атомів. Сфера їх дії обмежена. Вони проявляються лише в ядрах атомів на дуже малих відстанях (порядку  $10^{-15}$  м). На відстанях, більших за розміри атома ( $10^{-10}$  м), сильна взаємодія не виявляється.

**Слабка взаємодія** виявляється у ще менших масштабах: вона характеризує взаємодію елементарних частинок (такими частинками є, зокрема, електрони, протони, нейтрони).

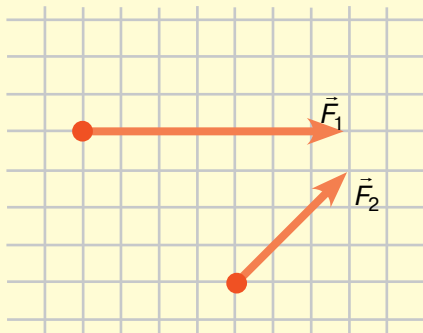
**Подумайте і дайте відповідь**

1. Наведіть приклади, які свідчать про те, що зміна швидкості тіла відбувається внаслідок дії на нього іншого тіла.
3. Що таке сила? Від чого залежить результат дії сили? Яке позначення сили?
4. Як графічно зображують сили?
6. Яка одиниця вимірювання сили в СІ? Дайте визначення одиниці сили.
7. Яка величина сили, зображеної на рис. 107?
- 8\*. Які типи фундаментальних взаємодій ви знаєте?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 19.**

1. Сила величиною 10 Н спричинює рух тіла у північному напрямі. Оберіть зручний на вашу думку масштаб і зобразіть цю силу графічно.
2. Сила, з якою нерухома кулька нитяного маятника діє на кінець нитки, дорівнює 5 Н. Оберіть масштаб і зобразіть цю силу графічно. Зобразіть (на окремому рисунку) силу, з якою нитка діє на кульку.
3. Сила  $\vec{F}_1 = 10\text{ Н}$  (рис. 108). Чому дорівнює сила  $\vec{F}_2$ , яку зображено в тому самому масштабі? Чим відрізняються сили  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$ ?



**Рис. 108.** Графічне подання сил  $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$

**Це треба знати**

**Як навчитися розв'язувати задачі з фізики**

Ви вже набули певного досвіду розв'язування фізичних задач і будете розв'язувати їх протягом усього подальшого вивчення фізики.

**Запам'ятайте!** Не можна навчитись розв'язувати задачі, лише спостерігаючи за тим, як це роблять інші. Над задачами треба працювати самостійно (адже справедливо кажуть: щоб навчитись плавати, треба йти у воду і плавати!)

У процесі розв'язування задач вам будуть корисними такі поради:

1. Уважно прочитайте умову задачі; з'ясуйте, яке фізичне явище покладено в її основу, що потрібно знайти, які величини дані, а які можна взяти з таблиць.

2. Обдумуючи зміст задачі, зробіть необхідний схематичний малюнок.

3. Запишіть скорочено умову задачі. Переведіть числові значення величин, заданих в умові задачі, до однієї системи одиниць (найчастіше СІ).

4. Встановіть зв'язки шуканої величини з відомими (через відповідні закономірності та формули).

5. Запишіть формули, якими ви будете користуватись, складіть рівняння, розв'яжіть його відносно шуканої величини. Щоб перевірити правильність кінцевої розрахункової формули, виконайте дії над позначеннями одиниць величин, що входять у праву частину цієї формули. Ви маєте отримати позначення одиниці шуканої величини.

6. Виконайте обчислення. Пам'ятайте правила дій над наближеними числами: точність кінцевого результату не може перевищувати точності вихідних даних.

7. Запишіть шукану величину в одиницях, у яких вона обчислена. Оцініть одержаний результат: він достовірний чи ні?

8. Подумайте, яким іншим способом можна розв'язати цю задачу. Оцініть, який варіант розв'язання задачі є найбільш раціональним.

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4

### Початковий рівень

1. Назвіть дію людини, у якій виявляється явище інерції?

А Рух на велосипеді із сталою швидкістю.

Б Вимірювання часу за допомогою секундоміра.

В Забивання молотком цвяхів у дошку.

Г Вимірювання довжини мірною стрічкою.

2. Що таке маса тіла?

А Фізична величина.      Б Одиниця вимірювання.

В Фізичне явище.      Г Значення фізичної величини.

3. Чому дорівнює густина речовини?

А Добутку маси речовини на її об'єм.

Б Масі об'єму даної речовини.

В Відношенню об'єму речовини до її маси.

Г Відношенню маси речовини до її об'єму.

### Середній рівень

**4.** Чи однакову інертність мають металева і пластмасова кулька з однаковим об'ємом? Чому?

**А** Ні. Більшу інертність має пластмасова кулька, тому що у неї менша маса.

**Б** Ні. Більшу інертність має металева кулька, тому що у неї більша маса.

**В** Так. Інертність кульок однакова, тому що вони мають однаковий об'єм.

**Г** Так. Інертність кульок однакова, тому що вона не залежить від маси.

**5.** Що треба знати про силу, щоб визначити результат її дії?

**А** Напрямок, довжину і точку прикладання.

**Б** Точку прикладання і величину.

**В** Величину, напрямок і точку прикладання.

**Г** Напрямок і точку прикладання.

**6.** Місткість канистри 10 л. Скільки кг бензину в неї можна налити?

Густина бензину  $710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

**А** 7,1 кг. **Б** 71 кг. **В** 0,71 кг. **Г** 0,071 кг.

### Достатній рівень

**7.** Чи можна відповісти на запитання: яке тіло має більшу інерцію — м'яч для великого тенісу або кулька для малого тенісу?

**А** Можна. Більшу інерцію має м'яч для великого тенісу.

**Б** Можна. Більшу інерцію має кулька для малого тенісу.

**В** Не можна. Інерція — це процес, а не властивість тіла.

**Г** Не можна. Інерція — це явище, а не властивість тіла.

**8.** Залізний, мідний та алюмінієвий стержні мають однакові перетини і масу. Який зі стержнів має меншу довжину?

**А** Залізний. **Б** Мідний. **В** Алюмінієвий. **Г** Довжини стержнів однакові.

**9.** Визначте масу зливку золота об'ємом  $10 \text{ см}^3$ .

**А** 0,0193 кг. **Б** 19,3 кг. **В** 0,193 кг. **Г** 1,93 кг.

### Високий рівень

**10.** Уявіть, що Земля раптом припинила рух навколо своєї осі. Що відбудеться з рухомими тілами, які знаходяться на її поверхні?

- А Тіла миттєво припиняють свій рух.  
Б Тіла продовжать рух у попередньому напрямі.  
В Тіла почнуть рухатись у зворотному напрямі.  
Г Тіла почнуть рухатись у довільних напрямках.

**11.** Срібний та золотий вироби мають однакові об'єми. Маса якого виробу й у скільки разів більша?

- А Маса золотого виробу більша в 1,8 рази.  
Б Маса золотого виробу більша у 18 разів.  
В Маса срібного виробу більша в 1,8 рази.  
Г Маса срібного виробу більша у 18 разів.

**12.** Для чого у фізиці вводиться поняття сили?

- А Для того, щоб визначити властивості тіл, що взаємодіють.  
Б Для того, щоб встановити причини взаємодій між тілами.  
В Для того, щоб кількісно охарактеризувати взаємодію тіл.  
Г Для того, щоб якісно охарактеризувати взаємодію тіл.

#### ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 4

1. У 2002 р. в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля Національної академії наук України був одержаний новий матеріал, якого не існує в природі — карбонітрид бора. Визначте густину цього матеріалу, якщо його кристал масою 4,68 г має об'єм  $2 \text{ см}^3$ . (Відповідь:  $2340 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

2. Найбільш міцним сплавом вважається победіт, який використовується для виготовлення деталей, що потребують значної твердості, зокрема, свердел для електродрилів. Визначте густину победіту, якщо його зразок об'ємом  $180 \text{ см}^3$  має масу 2,85 кг. (Відповідь:  $\approx 15800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

3. Корпуси мобільних телефонів виготовляють з полімерного матеріалу. Визначте його густину, якщо зразок такого полімеру при об'ємі  $6 \text{ см}^3$  має масу 7,2 г. (Відповідь:  $1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

4. Брусок з металу об'ємом  $10 \text{ см}^3$  має масу 105 г. Встановіть, який це метал. (Відповідь: Ag — срібло).

5. Об'єм всієї води, що є на Землі, становить 1,36 млрд.  $\text{км}^3$ . З них 97,2 % — це солоня вода, решта — прісна. Визначте масу прісної води на Землі. (Відповідь:  $3,8 \cdot 10^{19} \text{ кг}$ ).



# Взаємодія тіл. Сила

## Розділ 5. ВИДИ СИЛ

- Між якими тілами діють сили всесвітнього тяжіння?
- За допомогою яких приладів вимірюють сили?
- Чи траплялось вам перебувати у стані невагомості?
- Що ви відчуваєте на початку руху ліфта та перед його зупинкою?
- За рахунок яких сил ми підстрибуємо на батуті?
- З якою метою скло для подальшого транспортування перекладається різним пакувальним матеріалом (пінопластом, картоном, стружкою)?
- Чому з початком холодів автомобілісти переходять на так звану «зимову гуму»?
- Для чого при пересуванні важких вантажів під них підкладають циліндричні предмети або ставлять їх на вантажний причіп?
- Чому автомобілям «Формули 1» (болідам) надається краплеподібна форма?
- Що відбулося б навколо нас, якби раптово зникло тертя?



## § 20. ЯВИЩЕ ТЯЖІННЯ. СИЛА ТЯЖІННЯ

**1. Гравітаційні сили. Сила тяжіння.** Вільне падіння тіл. До середини XVII ст. вчені вважали, що лише Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла, які перебувають поблизу її поверхні. Однак у 1667 р. І. Ньютон спочатку висловив припущення, а потім і сформулював ідею про те, що сили взаємного притягання існують між всіма тілами у Всесвіті.

*Явище взаємного притягання всіх тіл у Всесвіті називають всесвітнім тяжінням або гравітацією.*

Одним із проявів всесвітнього тяжіння є притягання тіл до Землі.

*Сила, з якою Земля притягує до себе усі тіла, називається силою тяжіння ( $\vec{F}_{\text{тяж}}$ ).*

Розглянемо приклади руху тіл під дією сили тяжіння, зокрема, вільне падіння тіла. **Вільне падіння — це рух тіла під дією лише сили притягання Землі.** Якщо через рівні інтервали часу фіксувати переміщення тіла, яке вільно падає, то виявиться, що по мірі падіння цього тіла відстані, пройдені ним за однаковий час, зростають:  $l_4 > l_3 > l_2 > l_1$  (рис. 109). Отже, зростає і швидкість тіла. Це означає, що на тіло у напрямі до Землі постійно діє сила.

Внаслідок притягання Землі м'яч, кинутий горизонтально, не летить прямолінійно; його траєкторія — крива лінія (рис. 110, а). Запущений на навколосезну орбіту штучний супутник рухається по колу (рис. 110, б). Багато інших рухів теж пояснюються дією сили тяжіння на будь-яке тіло, що знаходиться поблизу поверхні Землі або на її поверхні.

*Усі тіла притягуються один до одного із силами всесвітнього тяжіння (гравітаційними силами)*

*Гравітація (від латинського слова *gravitas* — тяжкість, важкість)*

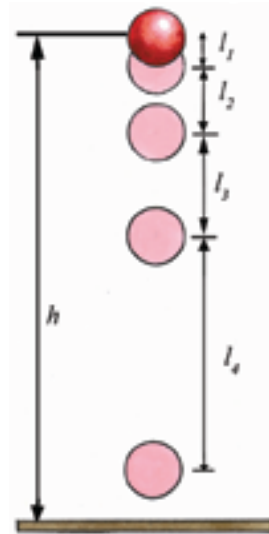


Рис. 109. Рух тіла під дією сили тяжіння

*Сила тяжіння прикладена до тіла і завжди спрямована у напрямку до центру Землі*



а)



б)

**Рис. 110.** Траєкторії руху: а) тіла, кинутого горизонтально; б) штучного супутника Землі

*Коефіцієнт пропорційності  $g$  набуває різних значень залежно від географічної широти місцевості та навіть щільності покладів корисних копалин у даному місці земної кулі*

**2. Розрахунок сили тяжіння, що діє на тіло певної маси.** Спостереження і досліди свідчать, що чим більша маса тіла, тим більшою є сила тяжіння. Отже, *сила тяжіння пропорційна масі тіла:*

$$F_{\text{тяж}} \sim m \text{ або } F_{\text{тяж}} = g \cdot m,$$

де  $g$  — коефіцієнт пропорційності, який є однаковим для всіх тіл:

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

Якщо взяти еталон маси ( $m = 1 \text{ кг}$ ) і визначити силу тяжіння, яка на нього діє,

то одержимо, що  $F_{\text{тяж}} = g \cdot m = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1 \text{ кг} = 9,8 \text{ Н}$ . Отже, коефіцієнт пропорційності  $g$  чисельно дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло масою 1 кг.

**Приклад.** Розрахуємо силу тяжіння, яка діє на лабораторний тягарець (з гачком) масою 102 г. Враховуючи, що 102 г = 0,102 кг, одержимо:

$$\begin{aligned} F_{\text{тяж}} &= g \cdot m; F_{\text{тяж}} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,102 \text{ кг} = \\ &= \frac{9,8 \text{ Н} \cdot 0,102 \text{ кг}}{1 \text{ кг}} = 1 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Отже, на тягарець масою 102 г діє сила тяжіння в 1 Н.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Чому траєкторія каменя, кинутого горизонтально, не є прямою лінією?
2. Яку силу називають силою всесвітнього тяжіння? силою тяжіння?
3. Як залежить сила тяжіння від маси тіла?

4. Чому дорівнює коефіцієнт пропорційності  $g$ ? Від яких зовнішніх умов він залежить?
5. Яка сила тяжіння діє на тіло масою 1 кг?
6. За якою формулою можна обчислити силу тяжіння, що діє на тіло будь-якої маси? В яких одиницях при цьому треба виражати масу тіла?

### **Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

#### **Вправа 20.**

1. Обґрунтуйте фізичний зміст коефіцієнту пропорційності  $g$ .
2. Обчисліть силу тяжіння, яка діє на тіло масою 2,6 кг; 10 кг; 800 г; 20 мг; 1,5 т.
3. Яке природне явище свідчить про те, що між Місяцем і Землею діє сила всесвітнього тяжіння?

### **Із історії фізики: вчені і факти**

#### **Як було відкрите явище всесвітнього тяжіння**

Існує така легенда. У 1666 році І. Ньютон спостерігав одночасно за рухом Місяця і падінням яблук на Землю. У вченого виникла здогадка, що Місяць, як і яблуко, теж притягується до Землі. Зрештою він довів, що всі тіла у Всесвіті притягуються одне до одного. Так було відкрито **явище всесвітнього тяжіння**.

### **Зв'язок фізики з іншими науками**

На основі теорії тяжіння успішно розвивається, зокрема, практична космонавтика (штучні космічні апарати слідкують за погодою, забезпечують мобільний зв'язок, телебачення та Інтернет).

### **Розширте науковий кругозір**

Тіла притягуються до поверхні Місяця у шість разів слабкіше, ніж до поверхні Землі. Тому, відштовхнувшись від поверхні Місяця з таким самим зусиллям, як і від поверхні Землі, космонавт стрибне у шість разів далі.

## § 21. ДЕФОРМАЦІЯ. СИЛА ПРУЖНОСТІ

*Сила може привести в рух як тіло в цілому, так і окремі його частини*

*Внаслідок деформацій деякі тіла можуть руйнуватися*



**Рис. 111.** Дослід з деформацією пружини: а) пружина у недеформованому стані; б) деформація пружини під дією гири

*В деформованому тілі виникає сила, яка має напрям, протилежний до напрямку деформації, і прикладена до тіла, що спричинює деформацію*

**1. Явище деформації.** Вам вже відомо, що тіло (або окремі частини тіла) під дією сили набувають швидкості і починають рухатися. Якщо різні частини тіла будуть рухатися по різному, то змінюватимуться його розміри і форма — тіло *деформується*.

*Деформація — це зміна розмірів і форми тіла під дією зовнішніх сил.*

Найпростішими є деформації *розтягу* та *стиску*.

**2. Сила пружності.** Виконаємо дослід, в якому будемо здійснювати деформацію пружини під дією гири (рис. 111). На початку дослідів пружина має певну форму (рис. 111, а). У процесі навантаження пружини гирею, її витки починають рухатися по-різному (нижній виток нерухомий, а верхні до нього наближуються), що призводить до ущільнення витків і деформації пружини. Ця деформація здійснюється у напрямку дії гири, тобто вниз. По мірі збільшення деформації пружини, рух гири вниз поступово сповільнюється і зрештою гиря зупиняється (рис. 111, б). Цілком очевидно, що уповільнення руху і зупинка гири обумовлені дією пружини. Отже, у процесі деформації в пружині виникає внутрішня сила, яка спрямована вгору і протидіє деформації. Ця сила прикладена до гири, дія якої деформацію спричинила.

*Силу, яка виникає внаслідок деформації тіла і спрямована в бік, протилежний до напрямку цієї деформації, називають силою пружності ( $\vec{F}_{\text{пр}}$ ).*

Силу, яка діє на тіло з боку горизонтальної опори або вертикального підвісу, називають силою реакції опори ( $\vec{N}$ ) або силою натягу підвісу ( $\vec{T}$ ).

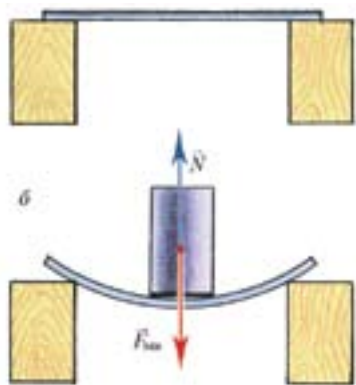
**3. Як виникають сили пружності і яка їх природа?** При деформаціях тіл змінюються відстані між частинками (атомами і молекулами), з яких ці тіла складаються. Зміні цих відстаней протидіють сили взаємодії між частинками тіл. Внаслідок цього в деформованому тілі виникають внутрішні сили пружності. Сили пружності за своєю природою — електромагнітні.

Розглянемо ще один приклад виникнення дії сили пружності. Для цього виконаємо такий дослід (рис. 112). Покладемо на підставки пластмасову лінійку (рис. 112, а) і поставимо на її середину гирю (рис. 112, б). Оскільки на гирю діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , то вона почне рухатися вниз і одночасно у цьому напрямі буде деформувати лінійку. Внаслідок деформації лінійки в ній виникне сила пружності, спрямована вгору (тобто в напрямі, протилежному до деформації). Чим більша деформація лінійки, тим більшою буде сила пружності, що виникає в ній внаслідок цієї деформації. Рух гирі припиниться в той момент, коли сила пружності лінійки (сила реакції опори) зрівняється за величиною із силою тяжіння, що діє на гирю.

На рисунку 112, б показано напрями сил  $F_{\text{тяж}}$  і  $N$ , які діють на гирю, розміщену на пружній лінійці. Зверніть увагу, що точка прикладання цих сил є спільною, оскільки обидві сили прикладені до одного і того самого тіла — гирі.

*Разом з деформованим тілом деформується підставка (опора), на якій воно лежить, або підвіс, на якому воно висить. Відповідно, в опорі (підвісі) теж виникне сила пружності, яка буде діяти на тіло, що спричинило їх деформацію*

*При розтягу тіла зовнішній силі протидіють сили міжмолекулярного притягання, а при стисканні тіла — сили міжмолекулярного відштовхування, які при збільшенні деформації зростають*



**Рис. 112.** Виникнення сили пружності при деформації пластмасової лінійки: а) пластмасова лінійка за відсутності деформації; б) деформація лінійки, навантаженої гирею, та сили, що діють на гирю

*Якщо сили прикладені до одного й того самого тіла, то за точку прикладання сил обирається геометричний центр тіла. Такий спосіб вибору точки прикладання сили до твердого тіла є загальноприйнятим*

*Тіла, в яких виникають пружні деформації, називаються пружними*

**4. Види деформацій.** Розрізняють два види деформацій — пружну і непружну (пластичну).

Деформація називається пружною, якщо після припинення дії *зовнішніх сил повністю відновлюються розміри і форма тіла.*

Вище ми розглядали приклади пружних деформацій: пружини (рис. 111, б) і пластмасової лінійки (рис. 112, б).

Деформація називається *непружною (пластичною)*, якщо після припинення дії *зовнішніх сил розміри і форма тіла не відновлюються.* Внаслідок пластичної деформації тіло набуває нової форми та інших розмірів. Пластичними є глина, пластилін, віск.

Мости, опори, перекриття, канати, деталі машин конструюють та виготовляють таким чином, щоб вони витримували пружні деформації без руйнування і відновлювали початкові розміри і форми. Саме це забезпечує призначення, надійність і цілісність конструкцій. Навпаки, під час механічної обробки матеріалів — штампування, кування тощо — їх піддають пластичній деформації з таким розрахунком, щоб деталь, виготовлена в результаті обробки, набула і зберігала потрібні розміри і форму.

*Характер деформації залежить від матеріалу, з якого виготовлене тіло, його конструкції, а також від навантаження на тіло і тривалості дії сили.* Наприклад, тривалий розтяг (або стискання) пружини призводить до втрати нею пружних властивостей.

Характер деформації значною мірою залежить від температури. Так, сталь пружна при кімнатній температурі і стає пластич-



ною (ковкою) при високих температурах. Свинець пластичний при кімнатній температурі і стає пружним при низьких температурах (нижче — 100 °C).

**5. Пружність твердих тіл, рідин і газів.**  
У *твердих* тіл розміри і форма є сталими, оскільки сили міжмолекулярного притягання між їх частинками досить великі. Тому частинки твердого тіла, які змістилися в процесі деформації, після припинення дії зовнішніх сил повертаються у вихідний стан, а розміри і форма тіла відновлюються.

*Рідини* не мають власної форми, а набувають форму посудини, в якій вони перебувають. Проте зменшення об'єму рідини є незначним. Отже, рідини мають *пружність об'єму*.

*Гази* дуже рухомі і не мають пружності по відношенню до зміни їх форми. Пружність газів виявляється при зміні їх об'єму. Чим більше стиснений газ, тим більші сили пружності в ньому виникають.

*Тіла, в яких виникають пластичні деформації, називаються пластичними*

*Відповідно до здатності тіл чинити опір деформаціям, виділяють дві важливі властивості тіл:*

*пружність — відновлення розмірів і форми після припинення дії зовнішніх сил;*

*пластичність — зміна розмірів і форми та їх збереження після припинення дії зовнішніх сил*

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке деформація? За яких умов вона виникає?
2. Яку силу називають силою пружності? Як вона позначається? Який напрям має? До якого тіла прикладена сила пружності?
3. Яку силу пружності називають силою реакції опори? Як вона позначається? До якого тіла прикладена сила реакції опори?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 21.

1. Як пояснити механізм виникнення сил пружності у деформованому тілі з урахуванням дії сил взаємного притягання та взаємного відштовхування між частинками, з яких складається тіло?
2. Поясніть відмінності у пружних властивостях твердих тіл, рідин і газів.

## § 22. ЗАКОН ГУКА



Роберт Гук  
(1635–1703)

*Жорсткість тіла визначають експериментально, оскільки вона залежить від властивостей речовини, з якої виготовлене тіло, його розмірів і форми*

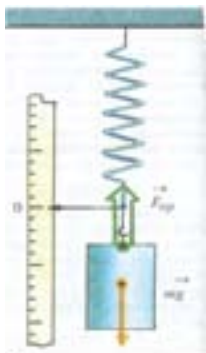


Рис. 113. До прикладу 1 про виникнення сили пружності, напрям її дії і точку прикладання

**1. Закон Гука.** Досліджуючи пружні властивості тіл, англійський вчений **Роберт Гук (1635–1703)** встановив:

*сила пружності, яка виникає внаслідок пружної деформації тіла, прямо пропорційна до величини цієї деформації.*

Закон Гука можна виразити математично:  $F_{пр} \sim x$  або  $F_{пр} = -kx$ , де  $x$  — величина деформації (наприклад, зміщення кінця пружини, що деформується під дією зовнішньої сили);  $k$  — коефіцієнт пропорційності, який залежить від пружних властивостей тіла і є мірою цих властивостей.

Коефіцієнт  $k$  називають жорсткістю тіла. В СІ одиницею жорсткості тіла є  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

Знак « $-$ » у формулі закону Гука означає, що напрям сили пружності протилежний до напрямку зміщення частинок тіла під дією зовнішніх сил, які ці зміщення спричиняють.

**2. Застосування закону Гука для розрахунку деформацій.**

*Приклад 1.* Підвісимо до кінця пружини тіло (рис. 113) і відпустимо його.

Під дією сили тяжіння тіло починає рухатися вниз і приводить в рух кінець пружини. Пружина деформується, і при певній величині деформації пружини тіло зупиняється. Це означає, що *сила тяжіння, яка діє на тіло, компенсується силою пружності пружини, спрямованою вгору* (обидві ці сили прикладені до тіла). Силу пружності можна визначити за законом Гука. Для

цього слід виміряти деформацію пружини (її видовження  $x$ ) і визначити жорсткість матеріалу пружини  $k$ .

Оскільки знак «-» у законі Гука визначає зв'язок між напрямками деформуючої сили та сили пружності, то при розрахунках його можна не враховувати.

При застосуванні закону Гука для розв'язування задач необхідно чітко визначити напрямки і точки прикладання зовнішньої деформуючої сили та сили пружності, що виникає у деформованому тілі.

**Приклад 2.** До пружини підвісили тіло (рис. 114). Маса тіла чисельно дорівнює сумі мас шести тягарців по 102 г кожен. За допомогою сантиметрової лінійки визначили, що пружина видовжилася на 30 см. Яка жорсткість пружини?

Дано:

$$m = 102 \text{ г} = 0,102 \text{ кг}$$

$$x = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$k$  — ?

*Розв'язання*

Під дією сили тяжіння і сили пружності кінець деформованої пружини перебуває в стані спокою. Це означає, що дії цих сил скомпенсовані:  $F_{\text{тяж}} = F_{\text{пр}}$ .

На кожний з тягарців масою 0,102 кг діє сила тяжіння 1 Н. Тому на кінець пружини діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = 6 \text{ Н}$ .

Враховуючи, що  $F_{\text{тяж}} = F_{\text{пр}}$ , і скориставшись законом Гука ( $F_{\text{пр}} = -kx$ ), отримаємо:

$$F_{\text{тяж}} = kx, \text{ звідки } k = \frac{F_{\text{тяж}}}{x}.$$

Перевіримо правильність одиниці шуканої величини за отриманою формулою:  $[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

$$\text{Обчислення: } k = \frac{6}{0,3} = 20 \left( \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right).$$

**Відповідь:** жорсткість пружини  $20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

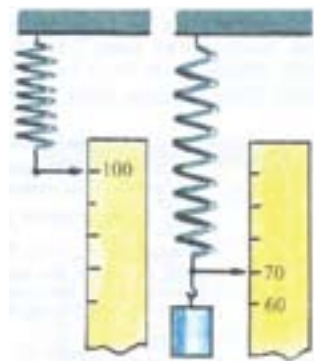


Рис. 114. До прикладу 2 про розрахунок жорсткості пружини

### Із історії фізики: вчені і факти

**Роберт Гук** — видатний англійський учений. Займався різними розділами природознавства, у тому числі й фізичними явищами. Удосконалив мікроскоп, барометр, телескоп. Основним засобом набування знань про природу Гук вважав експеримент.

Роберт Гук найбільше відомий за свій закон пружності (закон Гука). Також його часто згадують як «батька мікроскопії» — саме Гук увів термін клітина для найменшої живої частинки. Гук був відомим архітектором свого часу та головним землеміром Лондона після Великої пожежі. Він збудував один із перших телескопів, спостерігав за обертаннями Марса та Юпітера. Він був першим, хто припустив, що тіла розширюються при нагріванні і що повітря складається із дрібних частинок, які розділені порівняно великими відстанями.

Винаходи Гука дуже різноманітні. Варто сказати про спіральну пружину для регулювання ходу годинника.

У 1684 винайшов першу у світі систему оптичного телеграфу.

Винайшов безліч різних механізмів, зокрема для побудови різних геометричних кривих (еліпсів, парабол). Запропонував прототип теплових машин.

### Подумайте і дайте відповідь

1. У чому полягає сутність закону Гука? Який математичний запис цього закону?
2. Що означає знак «—» у формулі закону Гука?
3. Що таке жорсткість тіла? Як вона визначається і від чого залежить? Яка одиниця вимірювання жорсткості?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 22.

1. Обґрунтуйте, при яких умовах припиняється рух гирі, поставленої на пластмасову лінійку (рис. 112, б)? Які сили діють на гирю і як вони спрямовані? Які сили діють на пластмасову лінійку і як вони спрямовані? Виконайте відповідні рисунки.
2. Людина масою 50 кг стоїть на горизонтально розміщеній опорі. Визначити та показати у певному масштабі силу тяжіння та силу реакції опори, що діють на людину.

## § 23. ДИНАМОМЕТР

1. Динамометр — вимірювальний прилад. Динамометром називають прилад для вимірювання сили.

Основною частиною найпростішого динамометра є пружина, верхній кінець якої закріплено у корпусі. На нижньому кінці пружини є стержень з кільцем (або гачком) для підвішування вантажів та показчик, призначений для фіксації видовження пружини (рис. 115).

Якщо розтягувати пружину, діючи на її незакріплений кінець, показчик буде ковзати вздовж шкали, на якій нанесено поділки. Для обмеження руху пружини та її видовження у нижній частині корпусу встановлено обмежувач.

2. Градування динамометра. Важливим етапом виготовлення динамометра є градування його пружини. Оскільки видовження пружини пропорційне до сили, що її розтягує, то при рівномірному збільшенні навантаження на пружину відстані між попереднім і наступним положеннями показчика будуть однаковими. У цьому випадку шкала буде рівномірною.

Розглянемо процес градування динамометра. Динамометр розміщується вертикально. Навпроти показчика наноситься нульова поділка, яка відповідає його положенню при ненавантаженій пружині (рис. 116, а). Після цього до гачка підвішується лабораторний тягарець масою 102 г (на нього діє сила 1 Н). Під дією цієї сили пружина розтягнеться на певну відстань. Навпроти нового положення показчика на-

*Динамометр (від грецьких слів **dynamis** — сила та **metreo** — вимірюю)*

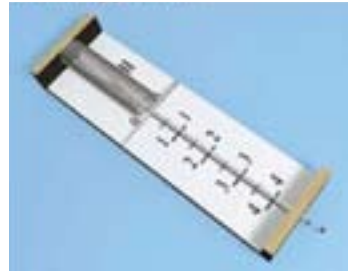
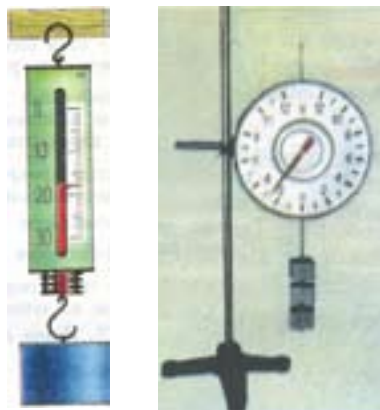


Рис. 115. Пружинний динамометр (лабораторний)

*Принцип дії пружинного динамометра заснований на порівнянні довільної сили із силою пружності, яка виникає в його деформованій пружині*



Рис. 116. Градування динамометра: а) нанесення нульової поділки ; б) нанесення поділки, яка відповідає дії сили 1 Н



а) б)  
Рис. 117. Шкільні динамометри: а) трубчатий; б) демонстраційний



Рис. 118. Ручний динамометр



Рис. 119. Тяговий динамометр мас великих вантажів (рис. 119).

носяться риска і цифра 1 (рис. 116, б). Зрозуміло, що ця поділка відповідає дії сили в 1 Н. Очевидно, що на тягарці з масами 204 г, 306 г і 408 г, підвішені до пружини, діятимуть сили 2 Н, 3 Н і 4 Н (біля кожного положення покажчика, яке відповідає певній силі, наноситься поділка).

На отриманій шкалі можна нанести поділки, які дають можливість вимірювати десяті частини ньютонів: 0,1 Н, 0,2 Н, 0,3 Н і так далі. Проградуєваний таким методом пружина і є найпростішим динамометром. Цей динамометр називають *лабораторним*.

**3. Види динамометрів.** Існують динамометри різного призначення та різних конструкцій.

На рисунку 117 показано два види динамометрів: трубчатий (рис. 117, а) і демонстраційний (рис. 117, б).

Демонстраційний динамометр має особливе призначення і відповідну будову. Його пружину можна розтягувати у двох протилежних напрямках, одночасно діючи однією силою на верхній, а іншою силою — на нижній гачки динамометра. Кожному з напрямів дії сил відповідають різні відхилення стрілки динамометра: за годинниковою стрілкою (відносно нульової поділки шкали) або проти неї. Відповідним чином виготовлено і шкалу динамометра.

Для вимірювання м'язової сили кисті руки при стисканні в кулак використовують ручний динамометр — *силомір* (рис. 118).

Так звані *тягові динамометри* дають можливість вимірювати значні сили і застосовуються, зокрема, для вимірювання

**Домашнє експериментальне завдання 8**

Розробіть метод визначення сили тяжіння, що діє на деяке тіло, за допомогою пружини, лінійки і однієї гирі (або будь-якого тіла) з відомою масою. Реалізуйте розроблений метод експериментально. Етапи виконання експерименту та його результати запишіть у робочий зошит.

**Фізичне знання в техніці**

Для вимірювання сил широко використовуються електронні динамометри (рис. 120), які забезпечують високу точність вимірювань, прості у використанні, дозволяють переносити одержані результати на комп'ютери з метою їх подальшого опрацювання і використання.



**Рис. 120.** Сучасний електронний динамометр

**Подумайте і дайте відповідь**

1. За допомогою якого приладу вимірюються сили? Яка його будова?
2. На чому заснований принцип дії динамометра?
3. Для чого на динамометрі ставлять обмежувач?
4. Як виготовити найпростіший динамометр? За якої умови його шкала буде рівномірною?
5. Які види шкільних динамометрів ви знаєте? Опишіть будову найпростіших шкільних динамометрів: лабораторного (рис. 115) і демонстраційного (рис. 117, б);
6. Що таке силомір? тяговий динамометр? Яке їх призначення?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати****Вправа 23.**

1. Розгляньте рисунок 121. Яку силу тяги показує динамометр, якщо ціна поділки дорівнює 15 кН? Яку максимальну силу тяги можна виміряти за допомогою цього динамометра?
2. При підвішуванні тягарця масою 102 г пружина динамометра видовжилася на 24 мм. Яка жорсткість пружини?
- 3\*. Чому пружини для динамометрів виготовляють зі сталі, а не з алюмінію або міді?



**Рис. 121.** Вимірювання сили тяги трактора



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

### Дослідження пружних властивостей тіл

#### Мета роботи

Дослідити властивості пружини. Навчитися градувати пружину із заданою ціною поділки та за її допомогою вимірювати сили.

*Прилади і матеріали:* 1) динамометр пружинний; 2) набір тягарців масами 102 г (не менше трьох); 3) штатив з муфтою; 4) тіла, для яких буде визначатись сила тяжіння, що на них діє (лапка і кільце від штатива, інші тіла); 5) лінійка з міліметровими поділками; 6) аркуш білого паперу; 7) ножиці.

*Примітка.* Тягарці масою 102 г виготовляють, додаючи відрізки дроту масою 2 г до наявних тягарців масою 100 г.

#### Порядок виконання роботи

1. Ознайомтесь з правилами градування динамометра (§ 23, п.2).
2. Виріжте смужку білого паперу і накладіть її на шкалу динамометра. Закріпіть динамометр із закритою шкалою вертикально в лапці штатива.
3. Позначте довгою горизонтальною рисою початкове положення покажчика динамометра і поставте цифру 0 (нульова поділка).
4. Підвісьте на гачок динамометра тягарець масою 102 г (як відомо, на тягарець такої маси діє сила тяжіння 1 Н). З такою самою силою цей тягарець розтягує пружину динамометра. Відмітьте на папері довгою рисою нове положення покажчика динамометра і поставте цифру 1.
5. Послідовно підвішуючи до першого тягарця другий і третій тягарці, відмічайте положення покажчика. Зробіть довгими рисками позначки відповідно 2 і 3.
6. Зніміть динамометр зі штатива. Вище від числа «0» поставте позначення одиниці сили Н (ньютон).
7. Виміряйте відстані  $\Delta x$  між цифрами 0 і 1, 1 і 2, 2 і 3. Результати вимірювань запишіть у таблицю 12. Зробіть висновок щодо рівномірності шкали (шкала є рівномірною чи приблизно рівномірною). Якщо відстані між позначками значно відрізняються, повторіть градування.
8. Проградуйте виготовлену в такий спосіб шкалу динамометра на менші поділки, поділивши відстані між довгими рисками на 10 рівних частин.
9. Визначте характеристики проградуйованого динамометра: ціну поділки та межі вимірювання.

**Результати вимірювань і обчислень (до лабораторної роботи № 8)**

Таблиця № 12

$F_{np}$ , Н	0	1	2	3
$\Delta x$ , мм	0			

10. Зніміть одержану на папері шкалу і порівняйте її зі шкалою приладу. Вклейте виготовлену шкалу в зошит.

11. За допомогою проградуйованого динамометра виміряйте силу тяжіння, що діє на обрані тіла (два або три тіла). Результати вимірювань запишіть у зошит.

12. Використовуючи проградуйований динамометр, визначте жорсткість його пружини: з формули закону Гука  $k = \frac{F_{np}}{x}$ . Значення коефіцієнту жорсткості обчисліть для трьох значень сили пружності, після чого розрахуйте його середнє значення.

13. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 13.

**Результати визначення коефіцієнту жорсткості пружини**  
(до лабораторної роботи № 8)

Таблиця №13

№ дослі- ду	Інтервал шкали	Видовження $\Delta x$ , мм	Сила пружності $F$ , Н	Коефіцієнт жорсткості, $k$ , Н/мм	Середнє значення коефіцієнту жор- сткості $k_c$ , Н/мм
1	0—1				
2	1—2				
3	2—3				

14. Зробіть висновки щодо: неточностей, допущених при градуюванні динамометра; виконання закону Гука; експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає принцип дії динамометра?
2. Як можна використовувати проградуйований вами динамометр?

**Додаткове завдання**

Динамометр легко виготовити в домашніх умовах. Для цього необхідно мати пружину з двома гачками на кінцях, а також дерев'яну (або пластмасову) основу, до якої кріпиться пружина. А градуювати динамометр ви вже навчилися під час виконання лабораторної роботи.

## § 24. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ І ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

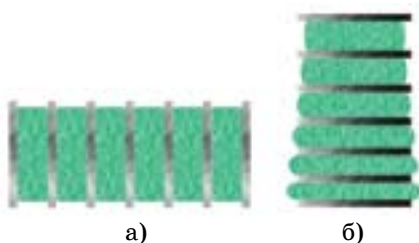


Рис. 122. Модель деформації тіла, що лежить на опорі

*При взаємодії тіла і опори деформується не лише опора, але й саме тіло, в якому теж виникає сила пружності, прикладена до опори*

1. Що таке вага? Ознайомимось ще з одною силою, з якою ми постійно маємо справу у повсякденному житті. Це *вага тіла*. З'ясуємо, як вона виникає. Пригадаємо приклад, зображений на рис. 112, б. Внаслідок дії сили тяжіння, гиря тисне на пластмасову лінійку та деформує її. Але сила пружності, яка виникає в деформованій лінійці, теж в свою чергу діє на гирю і спричинює в ній *внутрішню деформацію*. Така деформація є малопомітною. Продемонструвати деформацію тіла, що лежить на закріпленій опорі, можна на такій моделі (рис. 122).

Модель складається із семи сталевих пластин однакового розміру, проміжки між якими заповнені шарами поролону. У першому положенні цієї моделі (рис. 122, а) шари поролону не деформовані. У другому положенні (рис. 122, б) поролон під дією сили тяжіння стискається пластинами, причому тим більше, чим нижче розташовані його шари.

Таким чином, розглянута модель підтверджує, що тіла, які перебувають на опорі, деформуються у напрямі *від опори*. У процесі цієї деформації у тілі неминуче виникає сила пружності, яка діє у зворотному напрямі і *прикладена до опори*.

Силу, з якою тіло внаслідок притягання до Землі тисне на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс, називають *вагою тіла* ( $\vec{P}$ ).

Вага тіла дорівнює силі реакції опори, але спрямована протилежно.

На рисунку 123 сила тяжіння, вага і сила реакції опори зображено різними кольорами.

Отже, слід розрізняти: *силу тяжіння  $\vec{F}_{тяж}$ , що прикладена до тіла; силу реакцію опори  $N$ , яка теж прикладена до тіла; вагу тіла  $\vec{P}$ , яка прикладена до опори.*

**2. Невагомість.** Вага тіла виникає в результаті притягання Землі, але за величиною може відрізнятися від сили тяжіння. Зокрема, співвідношення між силою тяжіння, що діє на тіло, та вагою тіла змінюється, як тільки опора починає рухатися вгору або вниз. У цьому випадку вага тіла  $P$  не дорівнюватиме силі тяжіння  $F_{тяж}$ .

Для прикладу розглянемо рух людини у швидкісному ліфті (рис. 124). Чи пам'ятаєте ви відчуття, які при цьому виникають? Коли кабіна ліфта починає рухатися вгору і швидкість зростає, людині здається, що її притискує до підлоги. Перед зупинкою, коли рух ліфта сповільнюється, людина відчуває як би полегшення свого тіла.

*Стан тіла, у якому в нього відсутня вага, називають невагомістю.*

Такий стан виникає у тому випадку, коли тіло і опора, на якій воно знаходиться, вільно падають. При вільному падінні тіла з опорою взаємодія між ними відсутня, тіло не тисне на опору і деформації не виникають, а, отже, відсутні сила реакції опори і вага тіла. Стан невагомісті виникає у космонавтів в космічному кораблі з вимкнени-

*Якщо тіло і горизонтальна опора (вертикальний підвіс) нерухомі, то  $F_{тяж} = N = P$*

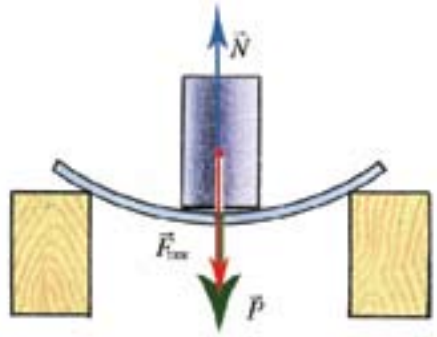


Рис. 123. Сили, які діють при взаємодії тіла з опорою

*Вага тіла не має постійного значення і може змінюватися залежно від умов, в яких тіло знаходиться на опорі.*



Рис. 124. Рух людини у швидкісному ліфті



**Рис. 125.** Космонавти в стані невагомості на космічній станції

*Запам'ятайте: на тіло, що перебуває у стані невагомості, продовжує діяти сила тяжіння*

*У стані перевантаження вага тіла стає більшою за силу тяжіння*



**Рис. 126.** У нижній частині «мертвої петлі» льотчик зазнає перевантаження

ми двигунами, внаслідок чого вони вільно «плавають» у кабіні (рис. 125). Але ви теж маєте можливість відчуття цього стану, наприклад, при стрибках з трампліну. У процесі стрибка ви перебуваєте у стані невагомості, оскільки при цьому зникає ваша взаємодія з опорою і ви перестаєте тиснути на неї.

Стан невагомості є незвичним для живих організмів. В умовах невагомості відбуваються істотні зміни у багатьох процесах життєдіяльності людини, тварин і рослин. Тому проблема невагомості вимагає спеціальної уваги, особливо у наш час, коли людина вийшла у відкритий космос і навіть працює в ньому протягом тривалого часу.

### **Висловіть свою думку**

Як ви можете пояснити той факт, що вага одного й того самого тіла не має постійного значення?

**3. Перевантаження.** У швидкісному ліфті стан перевантаження виникає на початку його руху, коли швидкість ліфта суттєво зростає, а також у момент зупинки ліфта при спуску. Проте у цьому випадку величина перевантаження незначна і людина її практично не відчуває. Велике перевантаження виникає в умовах високих швидкостей. Цей стан є шкідливим для людини, оскільки у неї виникають деформації органів тіла.

Значного перевантаження зазнають космонавти при старті космічних кораблів та у процесі їх входження в атмосферу Землі під час посадки. Перевантаження відчуває також льотчик у нижній частині «мертвої петлі» (рис. 126).

### Від теорії до практики

Явище невагомості застосовується в *медицині* (для лікування опорно-рухомого апарату). Величезні перспективи має також *космічна металургія* — галузь техніки, яка дозволить здійснювати в умовах невагомості виробництво металів і сплавів з покращеними властивостями.

### Фізичні дослідження в Україні

Засновниками космічної металургії можна із впевненістю вважати українських науковців. Зокрема, на борту космічного корабля «Союз 6» в умовах невагомості вперше було здійснено зварювання металів з використанням спеціальної установки «Вулкан», спроектованої і виготовленої в Інституті електрозварювання імені Є.О. Патона Національної академії наук України.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що називають вагою тіла? До якого з тіл, що взаємодіють, вона прикладена?
2. Які сили діють на тіло, що знаходиться на нерухомій опорі?
3. Чи однакова природа сили тяжіння і ваги?
4. У чому полягає відмінність між вагою тіла та силою тяжіння?
5. Що таке невагомість? перевантаження?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 24.

1. У кімнаті стоїть шафа. Які сили діють на шафу та підлогу?
2. Чи перебуває парашутист під час стрибка у стані невагомості?
3. Обчисліть вагу тіла, маса якого дорівнює 49 кг; 98 кг.
4. Чому дорівнює вага вашого тіла? Яка його маса?
5. Яка вага пластини пробкового дерева об'ємом  $1 \text{ м}^3$ ? Чи зможете ви її підняти?
6. Визначте вагу каністри бензину об'ємом 30 л.
7. Маса бензину під час поїздки автомобіля зменшилась на 30 кг. На скільки зменшилась загальна вага автомобіля?

## § 25. ДОДАВАННЯ СИЛ. РІВНОДІЙНА СИЛ, НАПРЯМЛЕНИХ УЗДОВЖ ОДНІЄЇ ПРЯМОЇ

*Силу, яка здійснює на тіло таку саму дію, як декілька одночасно діючих сил, називають рівнодійною цих сил ( $\vec{R}$ ). Якщо напрям рівнодійної сил встановлено, її позначають такою самою літерою, але без стрілочки*

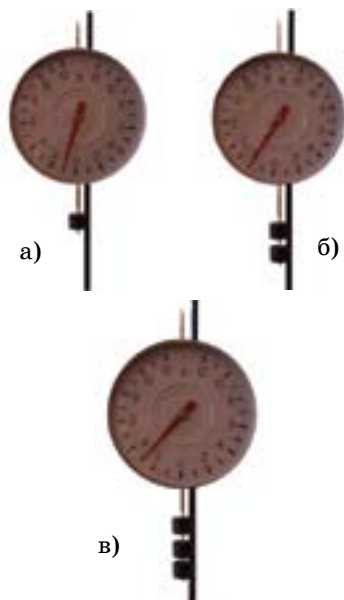


Рис. 127. Додавання сил, які діють вздовж однієї прямої в одному напрямі

**1. Рівнодійна сил.** У реальних умовах на будь-яке рухоме або нерухоме тіло одночасно діють дві і більше сил.

**Внаслідок одночасної дії на тіло двох і більше сил, ці сили певним чином додаються і спричиняють спільну дію.** Спільну дію декількох сил можна замінити рівнозначною дією деякої (уявної) сили — *рівнодійною* цих сил. Уведення поняття рівнодійної сили спрощує визначення стану тіла, на яке діють дві і більше сил.

**2. Додавання сил.** Знаходження рівнодійної сил називають *додаванням сил*. Розглянемо найпростіші приклади додавання сил.

**Приклад 1.** Візьмемо демонстраційний динамометр і підвісимо до його нижнього гачка тягарець масою 102 г. Стрілка динамометра зупиниться проти позначки 1 Н (рис. 127, а). Це означає, що на гачок діє сила  $F_1 = 1$  Н, спрямована вниз.

Підвісимо до динамометра другий тягарець такої ж самої маси. Зрозуміло, що він теж діятиме на гачок з силою  $F_2 = 1$  Н (рис. 127, б). Отже, в даному разі на нижній гачок динамометра діють дві сили по 1 Н кожна. Динамометр показує, що його пружину розтягує сила, яка дорівнює 2 Н.

Навантажимо нижній гачок динамометра третім тягарцем масою 102 г (рис. 127, в). Отже, на гачок тепер діє три сили по 1 Н кожна. При цьому показчик динамометра вказує на поділку, яка відповідає силі  $F_3 = 3$  Н.



**Приклад 2.** До нижнього гачка динамометра підвісимо три тягарці масою по 102 г кожен. Стрілка динамометра покаже, що на його нижній гачок діє сила  $F_1 = 3 \text{ Н}$  (рис. 128, а).

Приєднаємо до верхнього гачка динамометра інший динамометр (рис. 128, б). Рухаючи цей динамометр вгору, помітимо, що його показчик починає поступово зміщуватися. Це свідчить про те, що на верхній гачок починає діяти певна сила. Чим більшою стає ця сила, тим меншими стають покази нижнього динамометра. Рухатимемо верхній динамометр до того моменту, коли його показчик зупиниться навпроти позначки 1 Н. Це означає, що на верхній гачок нижнього динамометра діє сила  $F_2 = 1 \text{ Н}$ . Внаслідок одночасної дії сили  $F_2 = 1 \text{ Н}$  на верхній гачок та сили  $F_1 = 3 \text{ Н}$  на нижній гачок, стрілка нижнього динамометра переміститься на позначку 2 Н. Отже, спільний результат дії на пружину нижнього динамометра сили  $F_1 = 3 \text{ Н}$  і сили  $F_2 = 1 \text{ Н}$  є рівнозначним дії сили  $R = 3 \text{ Н}$ , яка спрямована в бік більшої сили (вниз).

**3. Зрівноваження сил.** Сформулюємо умови зрівноваження сил, що діють на одне і те саме тіло: *дві сили зрівноважують одна одну, якщо вони прикладені до одного тіла, рівні за величиною і протилежні за напрямом дії.*

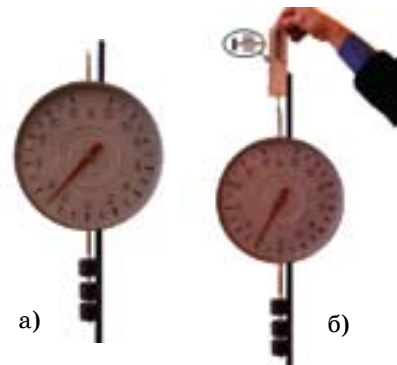
Даною умовою користуються у тих випадках, коли необхідно компенсувати дію на тіло декількох сил. В цьому ви переконаєтеся під час розв'язування фізичних задач.

*Сформулюємо висновок: рівнодійна двох сил, які діють вздовж однієї прямої в одному напрямі, дорівнює сумі діючих сил і має такий самий напрям.*

$$R = F_1 + F_2 + F_3$$

*Сформулюємо висновок: рівнодійна двох сил, які діють вздовж однієї прямої у протилежних напрямках, дорівнює різниці діючих сил і спрямована в бік більшої сили.*

$$R = F_1 - F_2$$



**Рис. 128.** Додавання сил, які діють вздовж однієї прямої у протилежних напрямках

### Подумайте і дайте відповідь

1. Наведіть приклади дії на тіло кількох сил.
2. Що називають рівнодійною сил?
3. Як обчислюють рівнодійну двох сил, що діють уздовж однієї прямої в одному і тому самому напрямі?
4. Як обчислюють рівнодійну двох сил, що діють уздовж однієї прямої у протилежних напрямках?
5. При яких умовах дві сили зрівноважують одна одну?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 25.

1. Людина, маса якої дорівнює 70 кг, тримає на плечах вантаж масою 30 кг. З якою силою людина тисне на землю?
2. У грі на перетягування канату беруть участь четверо хлопців: перші двоє з них тягнуть канат в один бік із силами 300 Н і 400 Н, другі — у протилежний бік із силами 250 Н і 450 Н. В якому напрямі рухатиметься канат і чому дорівнюватиме рівнодійна прикладених до нього сил?
3. На тіло вздовж однієї прямої діють дві сили: 20 кН і 30 кН. Оберіть масштаб і зобразіть ці сили графічно для випадків, коли рівнодійна дорівнює 10 кН і 50 кН.
4. Корабель буксирує три баржі, з'єднані послідовно одна з одною. Сила опору води для першої баржі становить 9000 Н, для другої — 7000 Н, для третьої — 6000 Н. Опір води для самого корабля — 11 кН. Визначте силу тяги, яку розвиває двигун корабля при буксируванні цих барж. Вважайте, що баржі рухаються рівномірно.
5. На рис. 127, а показано динамометр, до гачка якого підвішений тягарець. Яке з наведених нижче тверджень є найбільш правильним: а) динамометр показує силу пружності деформованої пружини динамометра; б) динамометр показує силу, з якою тягарець діє на гачок пружини динамометра.

## § 26. СИЛИ ТЕРТЯ. ТЕРТЯ В ПРИРОДІ Й ТЕХНІЦІ

**1. Тертя і сила тертя.** У § 15 ми встановили, що причиною зменшення швидкості руху тіла по деякій поверхні є вплив цієї поверхні. У цьому виявляється явище тертя, яке призводить до перешкоджання руху тіл або його виникненню.

Мірою взаємодії тіл, між якими існує тертя, є *сили тертя*.

*Сила, яка виникає при русі одного тіла по поверхні іншого і спрямована проти руху тіла, називається силою тертя ( $\vec{F}_{\text{тертя}}$ ).*

Причиною виникнення сил тертя є зачеплення нерівностей поверхонь стичних тіл, що призводить до деформацій цих нерівностей і виникнення сил пружності. При цьому у тих місцях, де відстані між частинками тіл (атомами і молекулами) стають достатньо малими для виникнення сил міжмолекулярної взаємодії, стичні тіла зчіплюються (злипаються). Отже, сили тертя можна розглядати як різновид сил пружності, а тому вони теж мають *електромагнітну природу*.

Існують різні види тертя. Розглянемо їх докладніше.

**2. Тертя спокою.** Покладемо дерев'яний брусок на дошку, приєднаємо до нього динамометр і подіємо на брусок незначною силою, спрямованою вздовж поверхні дошки (рис. 129, а). Брусок не зрушиться з місця, а це означає, що з'явилася певна сила, яка зрівноважила силу, прикладену до бруска. У даному випадку ми спостерігаємо *тертя спокою*. Силу тертя, яка при цьому виникає, називають *силою тертя спокою* ( $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$ ).

*Взаємодія між поверхнями тіл, що дотикаються, супроводжується виникненням явища тертя*



а)



б)

**Рис. 129.** Дія сили тертя спокою: а) сила тертя спокою зрівноважує зовнішню силу; б) сила тертя спокою зростає від нуля до максимального значення

*Сила тертя спокою змінюється (залежно від дії зовнішньої сили) від нуля до деякого максимального значення*

*Сила тертя ковзання завжди спрямована в бік, протилежний напрямку руху тіла, до якого вона прикладена*



**Рис. 130.** Покази динамометра в момент початку ковзання бруска і впродовж його рівномірного руху

Якщо потягнути брусок з більшою силою, то динамометр покаже поступове збільшення (від нуля до деякого значення) сили тертя спокою, яка протидіє зовнішній силі, що намагається вивести брусок зі стану спокою (рис. 129, б). Збільшення показів динамометра триватиме доти, поки не почнеться ковзання тіла. У цей момент досягається максимальне значення сили тертя спокою.

Як ви вже зрозуміли, *сила тертя спокою протидіє початку руху одного тіла по поверхні іншого*. Саме тому масивні предмети дуже важко зрушити з місця.

**3. Тертя ковзання.** Повернемося до досліду з рухом бруска по поверхні дошки за допомогою динамометра.

Як і у попередньому випадку, спочатку спостерігатимемо виникнення і зростання сили тертя спокою. У момент початку ковзання бруска покази динамометра трохи зменшаться і далі майже не змінюватимуться впродовж рівномірного ковзання бруска (рис. 130).

Отже, у процесі ковзання ми спостерігаємо вид тертя, який називають *тертям ковзання*. Виокремлюють відповідну йому силу — *силу тертя ковзання* ( $\vec{F}_{\text{тертя ковз}}$ ).

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

**4. Тертя кочення.** Якщо покласти дерев'яний брусок на візок (або підкласти під нього циліндричні олівці), то пересувати брусок по дошці стає значно легше (рис. 131, б). У цьому випадку тертя виникає між колесами візка та поверхнею столу.

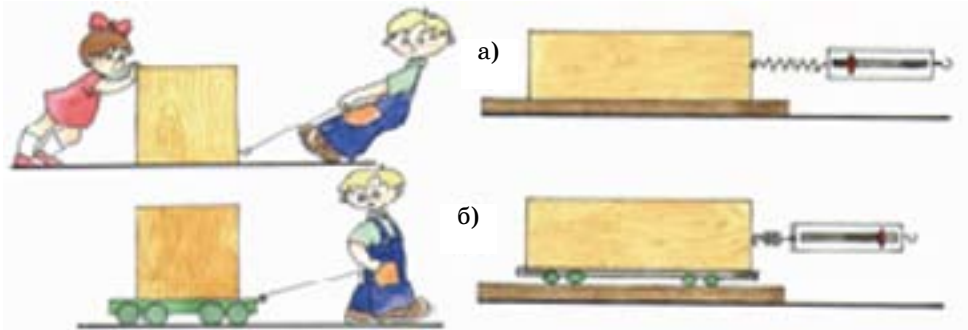


Рис. 131. Приклади прояву різних видів тертя: а) тертя ковзання; б) тертя кочення

Покази динамометра при цьому підтверджують, що заміна ковзання бруска (рис. 131, а) його коченням значно зменшує тертя. Тертя, яке ми спостерігаємо при коченні тіла, називають *тертям кочення*. Сила тертя, яка при цьому виникає, називається *силою тертя кочення* ( $\vec{F}_{\text{тертя коч}}$ ).

Можливість зменшення сили тертя за рахунок використання кочення тіл була відома людям ще в давнину. Наприклад, для пересування важких предметів їх ставили на колоди. Зрештою це призвело до винайдення колеса. У наш час найбільш зручним методом перевезення масивних вантажів є використання причепів, які мають велику кількість коліс. Роликові ковзани теж забезпечені колесами, за рахунок чого сила тертя між ними і поверхнею, по якій ми рухаємося, значно зменшується (рис. 132).

**5. Особливості тертя в рідинах і газах.** Під час ковзання шарів рідини або газу відносно один одного також має місце тертя. При цьому виникають сили тертя, що перешкоджають цьому ковзанню і спрямовані вздовж шарів рідини або газу у напрямках, протилежних до напрямку їх руху.



Рис. 132. Використання коліс у роликових ковзанах дозволяє зменшити силу тертя між ними і поверхнею, по якій людина рухається

*Сили опору, які виникають під час руху тіл у рідинах або газах, залежать від швидкості їх відносного руху, а також від форми тіл, що рухаються*



**Рис. 133.** Форма ракети дозволяє зменшити величину сил опору, які виникають при її русі



**Рис. 134.** Рух людини з парашутом

Такі ж сили виникають і при русі твердих тіл (риб, човнів, гелікоптерів тощо) у рідинах або газах. Цей вид тертя називають *рідким (або в'язким) тертям*. Сили тертя, які при цьому виникають, називаються *силами в'язкого тертя або силами опору*.

Форму тіла, яка дозволяє максимально зменшити сили опору, називають *обтічною*. Саме обтічної форми надають автомобілям, суднам, підводним човнам, ракетам (рис. 133).

### **Висловіть свою думку**

Якими особливостями руху ракети і парашутиста пояснюються форми ракети (рис. 133) і парашута (рис. 134).

**6. Що таке коефіцієнт тертя?** Однією з найважливіших характеристик тертя є залежність сили тертя від сили реакції опори. Виявимо залежність сили тертя від сили реакції опори.

Покладемо на брусок, що може рухатися по дошці, вантаж відомої маси (рис. 135, а). Зафіксуємо силу тертя ковзання, яку покаже динамометр при рівномірному русі бруска з вантажем. Поклавши на брусок вантаж вдвічі більшої маси, ми, відповідно, вдвічі збільшимо і силу реакції опори (рис. 135, б). Як наслідок, динамометр покаже, що сила тертя ковзання також збільшилася вдвічі.

Отже, *сила тертя ковзання пропорційна силі реакції опори*:

$$F_{\text{тертя ковз}} \approx N$$

$$\text{або } F_{\text{тертя ковз}} = \mu N,$$

де  $\mu$  — коефіцієнт пропорційності, який називають *коефіцієнтом тертя ковзання*;  $N$  — сила реакції опори.



З формули очевидно, що коефіцієнт тертя ковзання є величиною *безрозмірною*. У таблиці 14 наведено коефіцієнти тертя ковзання для деяких матеріалів.

Таблиця коефіцієнтів тертя ковзання

Таблиця 14

Матеріали	Коефіцієнти тертя ковзання
Сталь по льоду	0,015 — 0,02
Сталь по сталі	0,05 — 0,12
Дерево по дереву	0,34 — 0,4
Папір (картон) по дереву	0,36 — 0,40
Сталь по бронзі	0,07 — 0,15
Гума по бетону	0,68 — 0,75

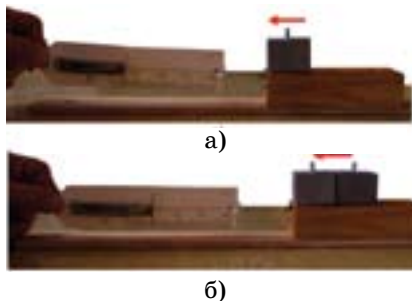


Рис. 135. Залежність сили тертя ковзання від сили реакції опори: а) сила тертя ковзання при рівномірному русі бруска з одним вантажем; б) сила тертя ковзання зростає вдвічі при збільшенні маси вантажу (сили реакції опори) вдвічі

**7. Приклади тертя в природі і техніці.** Тертя може бути як корисним, так і шкідливим. Без тертя спокою ані люди, ані тварини, ані машини не могли б рухатися. Сила тертя між колесами і землею під час гальмування зупиняє автомобіль, але без тертя спокою автомобіль не міг би почати рух за рахунок проковзування коліс. Щоб збільшити тертя, поверхню шин транспортних засобів виготовляють із ребристими виступами — протекторами, що підсилює їх зчеплення з дорогою, а, отже, збільшує тертя. Протектори роблять також на зимовому взутті.

Проте у багатьох випадках тертя шкідливе і його треба зменшувати. Зменшити втрати на тертя дозволяє використання мастил, повітряних прошарків тощо.

У техніці найбільш поширеним і ефективним методом запобігання шкідливого



Рис. 136. Підшипник кульковий



Рис. 137. Підшипник роликовий





**Рис. 138.** Утворення вітру за транспортом, що віддаляється

впливу тертя є застосування підшипників. Найпростіші кульковий та роликовий підшипники зображено на рисунках 136 і 137. Внутрішнє кільце підшипника насаджують нерухомо на обертовий вал, а зовнішнє закріплюють у корпусі машини. Таким чином, під час обертання вала внутрішнє кільце вже не ковзає, а котиться по кульках (роliках). Без підшипників не можна уявити сучасні транспорт і промисловість.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Як виявляється явище тертя? Що називають силою тертя? Від чого вона залежить? Яка природа сил тертя?
2. Яке тертя називають тертям спокою? Що таке сила тертя спокою? Як вона позначається?
3. Яке тертя називають тертям ковзання? Що таке сила тертя ковзання? Як вона позначається? Як можна зменшити силу тертя ковзання?
4. За яких умов виникає тертя кочення? Яка сила є більшою — сила тертя ковзання або сила тертя кочення?
5. Який вид тертя називають рідким тертям? Від чого залежать сили опору, які виникають при русі тіл у рідинах або газах?
6. Яке значення має тертя в природі й техніці? Чи завжди тертя є корисним?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 26.

1. Чому небезпечно керувати автомобілем на слизькій дорозі?
2. З якою метою у машинах і механізмах використовують підшипники?
3. Поясніть утворення вітру, що виникає услід за швидкісним транспортом (рис. 138)?
4. Яку силу треба прикласти до картонного ящика масою 20 кг, який лежить на дерев'яній підлозі, щоб зрушити його з місця?
5. На рисунку 139 показано (у певному масштабі) сили, що діють на автомобіль. Чи рухається він? Якщо так, то яким буде характер руху? Варіанти відповіді: а) рухається рівномірно; б) рухається із збільшенням швидкості; г) рухається із зменшенням швидкості.



**Рис. 139.** Сили, що діють на автомобіль

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

### Визначення коефіцієнта тертя ковзання

#### Мета роботи

Навчитися визначати силу тертя ковзання дослідним шляхом; визначити коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву; встановити залежність сили тертя від: 1) сили реакції опори; 2) площі поверхні тіла, на яке ця сила реакції опори діє.

*Прилади і матеріали:* 1) динамометр; 2) дерев'яний брусок; 3) дерев'яна лінійка; 4) набір тягарців масою по 102 г.

#### Теоретичні відомості

Для визначення коефіцієнта тертя ковзання необхідно спочатку виміряти силу тертя ковзання, яка виникає при русі дерев'яного бруска по дошці. Для цього до бруска прикріплюють динамометр і рівномірно рухають брусок по дошці, тримаючи динамометр горизонтально (див. рис. 135, а, б).

Що при цьому показує динамометр? В горизонтальному напрямі на брусок діють дві сили — сила пружності пружини динамометра (сила тяги), спрямована в бік руху, і сила тертя, спрямована проти руху. Під час *рівномірного* руху ці дві сили компенсують одна одну (їх рівнодійна дорівнює нулю). Це означає, що вони однакові за величиною, але протилежні за напрямом. Отже, *динамометр показує силу, яка чисельно дорівнює силі тертя*.

У вертикальному напрямі на брусок діють дві сили: сила тяжіння (вниз) і сила реакції опори (вгору). Чим більша сила тяжіння, тим більшою є сила реакції опори. Оскільки  $\vec{F}_{\text{тертя ковз}} = \mu N$ , то із збільшенням сили реакції опори збільшується і сила тертя ковзання.

#### Порядок виконання роботи

1. Ознайомтеся із теоретичними відомостями.
2. Користуючись динамометром, визначте вагу дерев'яного бруска і тягарця.

Врахуйте, що на горизонтальній поверхні сила нормального тиску дорівнює вазі бруска (тягарця).

3. Розташуйте дерев'яну лінійку горизонтально, покладіть на неї брусок на грань з більшою площею і поставте на нього один тягарець.

4. Прикріпіть до бруска динамометр і за його допомогою рухайте брусок з тягарцем рівномірно вздовж лінійки. Визначте силу тертя, що діє на брусок з тягарцем.

5. Аналогічно визначте силу тертя, навантажуючи брусок двома і трьома тягарцями.

6. У таблицю 15 запишіть значення ваги бруска  $P$  з одним, двома і трьома тягарцями, а також результати вимірювань сили тертя у кожному досліді.

7. З формули  $\vec{F}_{\text{тертя ковз}} = \mu N$  обчисліть коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву для кожного досліді. Визначте середнє значення коефіцієнта тертя ковзання. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 15.

**Результати вимірювань і обчислень коефіцієнта тертя ковзання (до лабораторної роботи № 9)**

Таблиця № 15

№ досліді	Сила реакції опори $P$ , Н	Сила тертя $F_{\text{тер}}$ , Н	Коефіцієнт тертя ковзання $\mu$	Середнє значення коефіцієнту тертя ковзання $\mu_{\text{сер}}$
1.				
2.				
3.				
4.				

8. Порівняйте значення сили тертя і сили реакції опори для кожного окремого досліді. З'ясуйте, як змінюється сила тертя зі зміною сили реакції опори.

9. Порівняйте, чи входить одержане вами середнє значення коефіцієнта тертя ковзання  $\mu_{\text{сер}}$  дерева по дереву до діапазону значень відповідного коефіцієнта тертя, наведеного у таблиці 14.

10. Перевірте, чи залежить сила тертя ковзання від площі рухомого тіла. Для цього покладіть брусок на грань з меншою площею і повторіть дослід. Порівняйте одержане значення сили тертя ковзання з її значенням у досліді, виконаному раніше. Результати вимірювання і обчислення запишіть у таблицю 15.

11. Зробіть висновки щодо: точності одержаного значення коефіцієнта тертя ковзання дерева по дереву; експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

**Контрольні запитання**

1. Поясніть залежність між силою тертя і силою реакції опори.

2. Чи залежить сила тертя ковзання від площі поверхні рухомого тіла за інших рівних умов?

---

## Це треба знати

---

### Як розкрити сутність фізичного закону

З § 2 вам відомо, що фізичні закони встановлюються як теоретичні узагальнення дослідних результатів. Закони фізики дають можливість передбачати і описувати нові закономірності, розв'язувати наукові проблеми, а іноді робити відкриття. Для того, щоб правильно пояснити фізичний закон, необхідно знати:

1. Формулювання закону та його математичний вираз.

2. Досліди, які підтверджують справедливість закону.

3. Можливості застосування закону (закон застосовується до окремих явищ, характеристик фізичних об'єктів, у певній галузі фізики або дозволяє описувати довільні природні явища).

4. Приклади застосування (врахування) закону у науці, техніці, в побуті.

5. Межі застосовності закону (які хибні результати і висновки можна одержати, якщо застосовувати закон для тих явищ, в яких він не виявляється).

6. Роль закону у розробленні сучасної експериментальної бази фізичних досліджень.

Запропонований *узагальнений план відповіді* допоможе вам виявити рівень володіння знаннями про будь-який фізичний закон. Скористайтеся цим планом і дайте розгорнуту відповідь про закон Гука (див. § 29).

---

### ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5

#### Початковий рівень

1. До чого прикладена сила тяжіння?

А До Землі.

Б До тіла.

В До опори.

Г До підвісу.

2. До якої сили застосовується закон Гука?

А До сили тертя.

Б До сили тяжіння.

В До сили пружності.    Г До гравітаційної сили.

**3.** На тіло в протилежних напрямках вздовж однієї прямої діють сили 10 Н і 15 Н. Чому дорівнює рівнодійна цих сил?

А 25 Н.

Б 10 Н.

В 15 Н.

Г 5 Н.

### Середній рівень

**4.** Яку силу називають силою тяжіння?

А Силу, з якою тіло притягується до опори.

Б Силу, з якою тіло притягується до Сонця.

В Силу, з якою тіло притягується до Землі.

Г Силу, з якою тіла притягуються один до одного.

**5.** Як залежить сила тертя, що виникає при русі тіла по поверхні іншого тіла, від маси рухомого тіла?

А Чим більша маса тіла, тим меншою є сила тертя.

Б Чим більша маса тіла, тим більшою є сила тертя.

В Чим менша маса тіла, тим більшою є сила тертя.

Г Сила тертя не залежить від маси рухомого тіла.

**6.** Яка сила тяжіння діє на тіло масою 800 г на поверхні Землі?

А 7,84 Н.

Б 78,4 Н.

В 784 Н.

Г 7840 Н.

### Достатній рівень

**7.** Яке явище природи можна пояснити існуванням сили притягання між Землею та Місяцем?

А Коливання земної кори.

В Чергування дня і ночі.

Б Утворення торнадо.

Г Припливи та відпливи.

**8.** Що впливає на величину сили тертя, яка виникає при дотиканні двох поверхонь?

А Якість обробки поверхонь, що дотикаються.

Б Якість обробки та властивості матеріалів поверхонь, що дотикаються.

В Властивості матеріалів, з яких виготовлені поверхні, що дотикаються.

Г Якість обробки поверхонь, що дотикаються, та час взаємодії між ними.

**9.** Чому дорівнює і як спрямована рівнодійна двох сил 17 Н і 26 Н, прикладених до тіла у протилежних напрямках вздовж однієї прямої?

А 43 Н; спрямована у бік більшої сили.

Б 43 Н; спрямована у бік меншої сили.

В 9 Н; спрямована у бік більшої сили.

Г 9 Н; спрямована у бік меншої сили.

### Високий рівень

**10.** Чи впливає обертальний рух Землі навколо осі на силу тяжіння, що діє на тіла з боку Землі?

**А** Так, тому що внаслідок обертального руху Землі змінюються швидкості тіл.

**Б** Так, тому що внаслідок обертального руху Землі змінюються траєкторії тіл.

**В** Ні, тому що у формулу сили тяжіння не входять величини, що характеризують обертальний рух Землі.

**Г** Ні, тому що сила тяжіння залежить лише від географічної широти місцевості.

**11.** За рахунок яких сил дві кулі після зіткнення відштовхуються одна від одної, а потім зупиняються?

**А** Відштовхуються за рахунок сили тертя, а зупиняються за рахунок сили тяжіння.

**Б** Відштовхуються за рахунок сили пружності, а зупиняються за рахунок сили тертя.

**В** Відштовхуються за рахунок сили тертя, а зупиняються за рахунок сили пружності.

**Г** Відштовхуються за рахунок сили пружності, а зупиняються за рахунок сили тяжіння.

**12.** Під дією сили пружності 15 Н пружина видовжилася на 12 см. На скільки видовжиться ця пружина під дією сили пружності 25 Н?

**А** 0,2 м. **Б** 0,25 м. **В** 0,1 м. **Г** 0,15 м.

### ЗАДАЧА ДО РОЗДІЛУ 5

Велике здивування вчених і туристів викликають залишки стародавніх будівель поблизу м. Баальбека в Малій Азії, які зведені римлянами понад 2000 років тому. Особливо вражають три каменя, які лежать в одному із кутів фундаменту храму Юпітера. Вони мають розміри  $20 \times 3,5 \times 4,5$  м кожен. Це найбільші «цеглини», які будь-коли використовувалися людиною у будівництві. Обчисліть силу тяжіння, яка діє на кожен з цих величезних каменів. Вважайте, що густина

каменю  $2800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . (Відповідь:  $\approx 8644$  кН).

# Взаємодія тіл. Сила

## Розділ 6. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ

- Для чого під хмарочоси закладають масивні фундаменти?
- Чому для занурення на глибину людині необхідне спеціальне спорядження?
- Чи впливають на стан людини зміни у погоді?
- Від чого у альпіністів виникає «гірська хвороба» і як її можна попередити?
- Чому у айсбергів підводна частина завжди більша за надводну?
- Якої найбільшої глибини під водою досягла людина?
- Чому сьогодні ми знову повертаємося до використання повітряних куль?
- Для чого Україні потрібні морський та річковий флоти?
- Які верфі й суднобудівельні заводи має Україна?





## § 27. ТИСК. СИЛА ТИСКУ

**1. Тиск — фізична величина.** У попередніх розділах ви розглянули різні види сил і тепер знаєте, що результат дії сили залежить від її величини, а також від того, як вона спрямована і до чого прикладена. Але для повного визначення результату дії сили необхідно відповісти ще на одне важливе питання: *чи залежить дія сили від площі поверхні, на яку вона діє?*

Якщо ви ходили у походи, то знаєте, що для пересування по заболоченій місцевості до взуття слід підв'язувати спеціальні плетені болотоступи, схожі на лижі, але коротші і ширші (рис. 140, а). У шкільних рюкзаків лямки робляться широкими, щоб у разі навантаженого рюкзака вони не врізалися у ваші плечі або долоні. Широкими лижами та гусеничними стрічками забезпечуються снігоходи (рис. 140, б).

Дію сили на деяку поверхню характеризують *тиском*. Тиск позначається літерою  $p$ .

*Тиском називається фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:*

$$\text{тиск} = \frac{\text{сила}}{\text{площа}} \quad \text{або} \quad p = \frac{F}{S},$$

де  $p$  — тиск,  $S$  — площа поверхні,  $F$  — сила, що діє на поверхню і розподіляється рівномірно по всій поверхні. Таку силу називають *силою тиску*.

За одиницю тиску в СІ прийнято *паскаль* (Па). *1 Па — це такий тиск, який чинить*

*Дія сили залежить не лише від її значення, напряму і точки прикладання, але й від площі поверхні, на яку здійснюється ця дія*



а)



б)

**Рис. 140.** Засоби зменшення дії сил тиску на поверхню: а) болотоступи; б) снігоходи

*Чим більша сила тиску, тим більший тиск, який вона чинить*

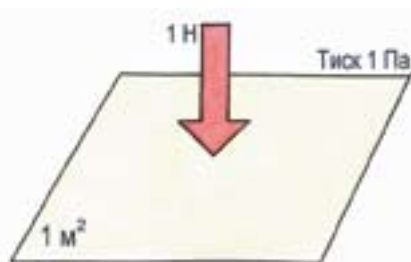


Рис. 141. До уявлення про одиницю тиску

сила  $1\text{ Н}$  на поверхню площею  $1\text{ м}^2$  перпендикулярно до цієї поверхні (рис. 141).

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

Одиниця тиску названа на честь видатного французького математика і фізика Блеза Паскаля. Часто використовують позасистемні одиниці тиску: технічна атмосфера (атм) та міліметр ртутного стовпа (мм. рт. ст.).

$$1\text{ атм} = 101325\text{ Па} = 760\text{ мм рт. ст.}$$

Як уявити величину тиску в  $1\text{ Па}$ ? Скориставшись формулою тиску, можна розрахувати, що хлопчик масою  $50\text{ кг}$  чинить тиск в  $1\text{ Па}$  на площу поверхні  $500\text{ м}^2$ ! Отже,  $1\text{ Па}$  — це дуже малий тиск.

На практиці використовуються кратні одиниці тиску — гектопаскаль (гПа), кілопаскаль (кПа) та мегапаскаль (МПа), а також дільні (для вимірювання малих тисків) — міліпаскаль (мПа):

$$\begin{aligned} 1\text{ гПа} &= 100\text{ Па}; \\ 1\text{ кПа} &= 1000\text{ Па}; \\ 1\text{ МПа} &= 1000\,000\text{ Па}; \\ 1\text{ мПа} &= 0,001\text{ Па} \end{aligned}$$

**2. Як змінюють тиск?** Зменшити (або збільшити) тиск можна, якщо зменшувати (або збільшувати) площу поверхні. Цим широко користуються, зокрема, в будівництві: для того, щоб ґрунт витримав тиск споруди, збільшують площу нижньої частини фундаменту. Наприклад, Київська телевізійна вежа (рис. 142, а) має висоту  $385\text{ м}$ . Вона чинить на ґрунт тиск близько  $14\text{ кПа}$ , бо має площу фундаменту понад  $2000\text{ м}^2$ .



а)



б)

Рис. 142. Зменшення або збільшення тиску: а) висотні споруди мають велику площу фундаменту; б) бури для свердловин забезпечені гострою ріжучою частиною

Навпаки, пристрій для буріння свердловин (бур) повинен мати гостру ріжучу частину для збільшення тиску (рис. 142, б).

У деяких представників живої природи також зустрічаються різальні та колючі пристрої — зуби, кігті, дзьоби, колючки, жала. Усі вони дуже гострі і тверді, а тому створюють значний тиск на поверхні. Наприклад, тиск, із яким діє жало оси при укусі, значно більший, ніж тиск на ґрунт важкого танка або гусеничного трактора (рис. 143).



**Рис. 143.** За допомогою жала оси паралізують личинки метеликів або жуків, а потім заповнюють ними соти

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що називають тиском? силою тиску? За якою формулою обчислюють тиск?
2. Наведіть приклади про залежність тиску від площі опори, на яку діє сила.
3. Яка одиниця тиску? Які одиниці тиску застосовуються для вимірювання малих тисків?
4. Чому людина, що йде на лижах, не провалюється в сніг?
5. Яку кнопку легше втиснути у деревину: гостру чи затуплену? Чому?
6. Наведіть приклади використання великих площ опори для зменшення тиску.
7. Чому різальні й колючі інструменти діють на тіла з досить великим тиском? Наведіть приклади використання тиску в живій природі і техніці.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

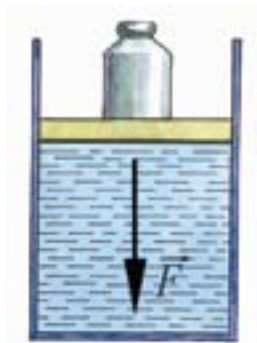
#### Вправа 27.

1. Чи залежить тиск, із яким діють тіла на опору, від густини речовини тіл, якщо розміри тіл і площі опор однакові?
2. Запишіть у паскалях тиск: 5 гПа;  $0,02 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$ ; 0,4 кПа;  $10 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$ .
3. Запишіть у гектопаскалях, кілопаскалях і  $\frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$  тиск: 100000 Па; 20000 Па; 5800 Па.

## § 28. ТИСК У РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

*Рідини з певними силами діють на тверді тіла, які з ними стикаються — це сили тиску рідини*

*Сили тиску в рідині тим більші, чим більшою є сила, що стискає рідину*



**Рис. 144.** Поршень з вантажем опускається і стискає рідину, внаслідок чого в рідині виникають сили тиску

**1. Виникнення сил тиску у рідинах і газах та їх напрям.** Спробуйте закрити пальцем отвір водопровідного крану — ви відчуєте силу, яка діє на палець. При зануренні навіть на невелику глибину, ваші вуха зазнають неприємних відчуттів. Ці приклади свідчать про те, що у рідинах діють *сили тиску*.

Як виникають сили тиску у рідинах? Стиснемо рідину, закривши посудину з рідиною поршнем, а зверху поклавши вантаж (рис. 144). При цьому кожний об'єм, виділений всередині рідини, буде стиснутий з усіх боків сусідніми об'ємами і через пружність з такою самою силою діятиме на них. Отже, при стисканні рідини всередині неї виникають сили пружності — це і є *сили тиску*.

Сили тиску рідини завжди спрямовані перпендикулярно до поверхонь твердих тіл, з якими рідина стикається.

**2. Розподіл тиску всередині рідин і газів.** Тиск всередині рідини залежить від того, наскільки сильно вона стиснута. З'ясуємо тепер, як *розподіляється* тиск всередині рідини. Рідина може бути стиснута силою тяжіння (власною вагою) або зовнішніми силами, що діють на її поверхню (поверхневі сили). Наприклад, тиск на морських глибинах (та в будь-яких водоймищах) зумовлений вагою води та силою тиску з боку атмосфери. При цьому тиск у водоймищах розподілений нерівномірно: глибинні шари води стиснуті набагато сильніше. Якщо ж розглядати посудину невеликого об'єму, то тиск, створений вагою води у такій посудині,

ні, буде незначним, а тому розподіл тиску можна вважати майже рівномірним. У газів розподіл тиску має такий самий характер.

**3. Закон Паскаля.** Подіємо на деяку поверхню, яка обмежує рідину (або газ), поверхневими силами. Для цього будемо всувати поршень у посудину, створюючи у рідині (або газі) тиск (рис. 144). Дослід показує, що в умовах дії лише поверхневих сил *тиск в усіх точках всередині рідини (або газу) однаковий*.

У цьому полягає суть закону Паскаля: *тиск, який створюється поверхневими силами, передається без змін у кожную точку рідини або газу*.

Це можна пояснити таким чином. Молекули води (або газу) внаслідок рухливості під поршнем ущільнюються і передають тиск поршню сусіднім молекулам, які в свою чергу тиснуть на інші молекули. Таким чином, тиск поршня передається в кожную точку рідини (або газу).

Розглянемо приклади.

**Приклад 1.** Якщо порожнисту кулю з приєднаним до неї поршнем наповнити водою і натиснути на поршень, вода виллється з отворів кулі в усі боки (рис. 145, а). Дійсно, згідно закону Паскаля тиск від поршня передаватиметься в кожную точку рідини, яка заповнює кулю, внаслідок чого вода виштовхується з кулі в усі боки.

**Приклад 2.** Аналогічний ефект спостерігатиметься, якщо кулю наповнити димом (рис. 145, б).

**Приклад 3.** На законі Паскаля заснована й дія водяного пістолета (рис. 145, в).



Блез Паскаль  
(1623 — 1662)



в)

**Рис. 145.** Приклади прояву закону Паскаля: а) при натисканні на поршень вода виллється з кулі в усі боки; б) при натисканні на поршень дим виходить з кулі в усі боки; в) при натисканні на кнопку спуску водяного пістолета тиск води передається на отвір, з якого виходить струмінь

### Домашнє експериментальне завдання

Запропонуйте конструкцію приладу з пластмасового флакона, за допомогою якого можна проілюструвати закон Паскаля. Виготуйте такий прилад і перевірте його дію. Етапи і результати експерименту запишіть у робочий зошит.

### Подумайте і дайте відповідь

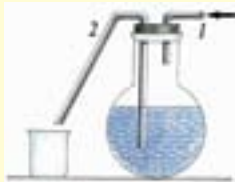
1. Як виникають сили тиску у рідинах і газах? Який їх напрям?
2. Який розподіл тиску всередині рідин і газів?
3. Сформулюйте закон Паскаля.
6. Чи зашкоджує підводний вибух істотам, що живуть у воді?
- 5\*. Чому мильна бульбашка має сферичну форму?



**Рис. 146.** У посудинах містяться: а) твердий брусок; б) шріт; в) вода



**Рис. 147.** Піднімання людини за допомогою гумової камери з трубкою, в яку вдувають повітря



**Рис. 148.** Посудина щільно закрита корком, в якій уставлено дві трубки

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати Вправа 28.

1. В одній посудині міститься твердий брусок, який не прилягає до стінок посудини, в другій шріт, в третій — вода (рис. 146). Зобразіть графічно, як передаватиметься тиск цими тілами.
2. Візьміть камеру від волейбольного м'яча, приєднайте до неї гумову трубку. Вдуваючи ротом через трубку повітря в камеру, можна підняти досить важку гирю або, наприклад, людину (рис. 147). Поясніть це явище. Спробуйте зробити такий дослід.
3. Посудина щільно закрита корком, в якій уставлено дві трубки так, як показано на рисунку 148. Якщо подути у трубку 1, вода через трубку 2 виливатиметься з посудини. Поясніть це. Чи буде виливатися вода з трубки 1, якщо подути у трубку 2?



## § 29. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ ПРИСТРОЇ

**1. Що таке гідравлічний пристрій.** Гідравлічними називаються пристрої (машини, механізми), дія яких ґрунтується на законах руху і рівноваги рідин. Дію гідравлічних машин (рис. 149, а, б; рис. 150) можна пояснити на основі закону Паскаля.

Будь-яка гідравлічна машина складається з двох резервуарів (циліндрів) різного діаметру, що забезпечені поршнями і сполучаються один з одним. Простір під поршнями заповнюється рідиною (рис. 149, а).

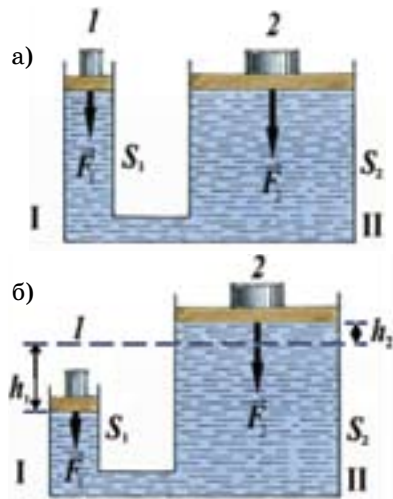
Якщо на поверхню рідини у циліндрі I через поршень площею  $S_1$  подіяти з деякою силою  $F_1$ , вона чинитиме на рідину тиск:

$$p = \frac{F_1}{S_1}.$$

Цей тиск за законом Паскаля передаватиметься рідині у циліндрі II без зміни. Тому тиск у циліндрі II буде такий самий і дорівнюватиме  $p$ . Визначимо, яку силу  $F_2$  необхідно прикласти до другого поршня, щоб рідина перебувала у стані рівноваги, тобто не була витіснена з першого циліндра у другий або назад. У стані рівноваги на поршень II повинна діяти така сила, щоб створений нею тиск теж дорівнював  $p$ . Отже, тиск під другим поршнем  $p = \frac{F_2}{S_2}$ , звідки знаходимо:

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

*Гідравлічний — від грецького слова *hydraulikos* — водяний.*



**Рис. 149.** Гідравлічна машина: а), б) схематичне зображення будови гідравлічної машини



**Рис. 150.** Промислова гідравлічна машина



*За допомогою гідравлічної машини можна малою силою зрівноважувати велику силу*

*Пневматичний — від грецького слова *пнеуматос* — подув, вітер*

Дано:

$$F_1 = 60 \text{ кН} = 6 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$S_1 = 240 \text{ см}^2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$S_2 = 4 \text{ см}^2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$F_2$  — ?

Як бачимо, сили, які діють на поршні гідравлічної машини, прямо пропорційні їх площам. Отже, сила  $F_2$  у стільки разів більша за силу  $F_1$ , у скільки разів площа більшого поршня  $S_2$  більша від площі меншого поршня  $S_1$ .

**2. Використання гідравлічних пристроїв.** Гідравлічні преси та інші гідравлічні пристрої можуть розвивати сили до сотень мільйонів ньютонів. Тому вони використовуються там, де потрібні великі зусилля.

**3. Пневматичні пристрої.** Закон Паскаля справджується і для газів. Тому дія механізму, в якому рідину замінено стисненим газом, є аналогічною до дії гідравлічного пристрою. На відміну від гідравлічного пристрою, такий пристрій називають *пневматичним*.

**4. Розрахунок тиску. Приклад.** На більший поршень гідравлічного преса діє сила 60 кН. Площа великого поршня — 240 см<sup>2</sup>, малого — 4 см<sup>2</sup>. Визначте силу, яка діє на малий поршень.

*Розв'язання*

Для гідравлічної машини має місце форму-

ла:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$ , звідки  $F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1}$ .

*Перевіримо* правильність одиниці шуканої величини за отриманою формулою:

$$[F_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2} = \text{Н}.$$

Обчислення:  $F_2 = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3}}{2,4 \cdot 10^{-2}} = 10^3 \text{ (Н)}.$

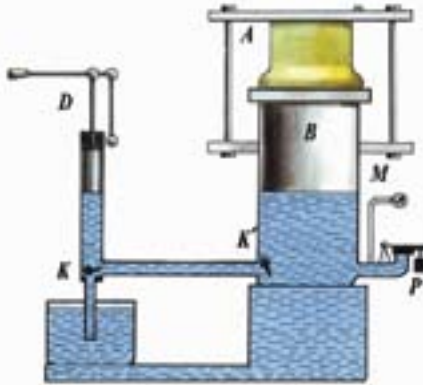
*Відповідь:* на малий поршень діє сила 1 кН.

### ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

#### Виграш у силі для гідравлічної машини.

**Гідравлічний прес.** Неабиякого виграшу в силі можна досягти, використовуючи різноманітні за конструкцією *гідравлічні преси* (рис. 151, рис. 152). Схематично будову гідравлічного преса показано на рисунку 151.

Оскільки за законом Паскаля тиск, створений поршнем  $D$ , без змін передається поршню  $B$ , то сила, з якою поршень  $B$  стискає тіло  $A$ , буде значно більшою за силу, прикладену до поршня  $D$ . Тіло  $A$  під час піднімання поршня  $B$  утримується нерухомою верхньою платформою гідравлічного преса і стискається. Таким чином досягається виграш у силі.



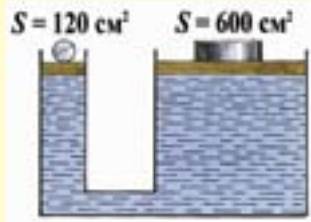
**Рис. 151.** Гідравлічний прес: схематичне зображення будови гідравлічного преса



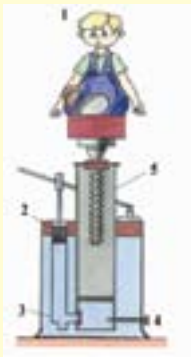
**Рис. 152.** Промисловий гідравлічний прес

#### Подумайте і дайте відповідь

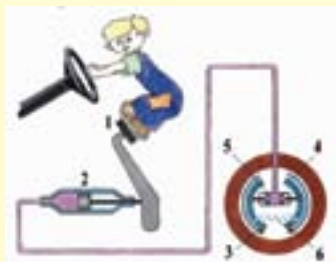
1. Які пристрої називаються: гідравлічними? пневматичними?
2. Яка властивість рідин і газів використовується в гідравлічних і пневматичних пристроях?
3. Чи дає гідравлічний прес виграш у силі? Який саме?
4. Опишіть будову гідравлічної машини.



**Рис. 153.** До задачі про визначення ваги кулі



**Рис. 154.** Схема гідравлічного домкрата



**Рис. 155.** Схема автомобільного гідравлічного гальма

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати Вправа 29.

1. Яка вага кулі (рис. 153), якщо рідина в гідравлічному пристрої перебуває у рівновазі, а маса вантажу — 600 кг?
2. На рисунку 154 зображено спрощену схему гідравлічного домкрата, де 1 — тіло, що піднімають, 2 — малий поршень, 3 — клапан, 4 — клапан для опускання вантажу, 5 — великий поршень. Який вантаж можна підняти домкратом, якщо площа малого поршня  $1,2 \text{ см}^2$ , великого —  $1440 \text{ см}^2$ , а сила, що діє на малий поршень, досягає 1 кН. Поясніть принцип дії гідравлічного домкрата.
3. На рисунку 155 наведено схему автомобільного гідравлічного гальма, де 1 — педаль гальма, 2 — циліндр з поршнем, 3, 4 — гальмові колодки, 5 — гальмовий циліндр, 6 — пружина. Циліндри і трубки заповнені спеціальною гальмівною рідиною. Поясніть принцип дії гальма.

### Підготуйте повідомлення

Види гідравлічних і пневматичних пристроїв та їх використання в техніці.

## § 30. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК

**1. Гідростатичний тиск.** Тиск рідин, який зумовлений дією на рідину сили тяжіння і залежить від глибини під поверхнею рідини, називають гідростатичним. Як можна розрахувати гідростатичний тиск рідини на дно посудини? Візьмемо посудину у формі прямокутного паралелепіпеда, наповнену рідиною (рис. 156).

Сила  $F$ , з якою рідина тисне на дно посудини, чисельно дорівнює вазі  $P$  рідини. В свою чергу, вагу рідини можна обчислити, знаючи силу тяжіння, що на неї діє:

$$F = P = m \cdot g.$$

Маса рідини дорівнює добутку її об'єму  $V$  на густину  $\rho$ :

$$m = \rho \cdot V.$$

Об'єм рідини в посудині визначається за формулою:

$$V = S \cdot h,$$

де  $S$  — площа дна посудини,  $h$  — висота стовпа рідини в посудині. Отже,

$$F = P = \rho g S h.$$

Гідростатичний тиск  $p$  визначимо, поділивши силу тиску  $F$  на площу  $S$ :

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\rho g S h}{S} \text{ або } p = \rho g h.$$

Як бачимо, тиск рідини на дно посудини залежить від її густини та висоти стовпа рідини і не залежить від форми посудини, в якій знаходиться рідина.

*Гідростатичний — від грецьких слів  $hydor$  — вода,  $statos$  — той, що стоїть.*

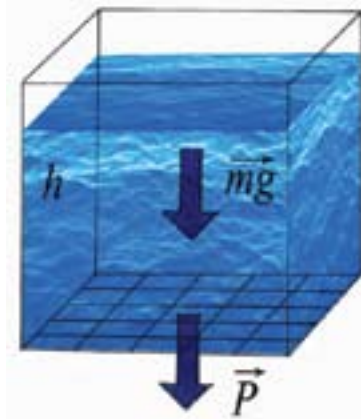


Рис. 156. До розрахунку гідростатичного тиску рідини на дно посудини



Рис. 157, а



б)

**Рис. 157.** Прояви великих тисків на значних глибинах: а) у вухах людини виникають неприємні відчуття; б) корпуси підводних апаратів можуть зазнавати деформацій

Можна навести багато прикладів, які свідчать про існування великих тисків на значних глибинах. Зокрема, дайвер, який занурюється під воду, відчуває біль у вухах, яка виникає внаслідок тиску води на барабанну перетинку (рис. 157, а). Корпуси підводних човнів виготовляють з більш міцного сплаву, ніж корпуси надводних суден, з урахуванням величезних тисків на глибині (рис. 157, б).

**2. Розрахунок тиску рідини на стінки посудини.** *Приклад.* У стінці бака для води на висоті 1,5 м від дна зроблено віконце розміром  $20 \times 30$  см. Визначте тиск води на дно бака, якщо висота стовпа води становить 4 м. З якою силою вода тисне на віконце?

*Дано:*

$$h = 4 \text{ м}$$

$$h_1 = 1,5 \text{ м}$$

$$S = 20 \times 30 \text{ см} = 600 \text{ см}^2 = 0,06 \text{ м}^2$$

$$p = ?$$

$$F = ?$$

*Розв'язання*

1. Гідростатичний тиск визначається за формулою:  $p = \rho gh$ . Густина води  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

*Перевіримо* найменування одиниці шуканої величини за отриманою формулою:

$$[p] = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

*Обчислення:*  $p = 9,8 \cdot 10^3 \cdot 4 = 3,92 \cdot 10^4 \text{ (Па)}.$

2. На віконце діє сила  $F = p_1 S$ , де  $p_1 = \rho g(h - h_1)$  — тиск води на рівні віконця. Отже,  $F = \rho g(h - h_1)S$ .

*Перевіримо* найменування одиниці шуканої величини за отриманою формулою:

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

*Обчислення:*  $F = 9,8 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 0,06 = 1470 \text{ (Н)}$

*Відповідь:* тиск на дно бака 39,2 кПа; вода тисне на віконце з силою 1470 Н.

### Домашнє експериментальне завдання

У бічній поверхні пластмасової пляшки на різних висоті зробить три невеликі отвори. Закоркуйте ці отвори пластиліном і наповніть посудину водою. Відкрийте отвори і простежте за струменями води, що витікає (рис. 158). Зробіть рисунок свого досліду. Поясніть, чому вода витікає з отворів? Що можна сказати про тиск води на рівні кожного з отворів? Зобразіть графічно сили тиску в отворах. Етапи та результати експерименту запишіть у робочий зошит.



**Рис. 158.** Пластикові посудина з отворами у бічній поверхні

### Подумайте і дайте відповідь

1. Який тиск називають гідростатичним?
2. Від чого залежить гідростатичний тиск?
3. За якою формулою обчислюють гідростатичний тиск?
4. Наведіть приклади проявів гідростатичного тиску.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

**Вправа 30.**

1. У чотири посудини (рис. 159), що мають різну форму, але однакову площу дна, налито одну й ту саму рідину. Що можна сказати про тиск рідини на дно кожної з посудин?



**Рис. 159.** Посудини мають різну форму, але однакову площу дна

2. Видатний учений Б. Паскаль у 1648 р. провів такий дослід. У міцну, наповнену водою і закрити з усіх боків бочку, він уставив довгу вузьку трубку (рис. 160) і, піднявшись на балкон другого поверху будинку, вилив у цю трубку кухоль води. На превеликий подив сучасників ученого, клепки бочки розійшлися і вода з бочки почала виливатися. Поясніть це явище.



**Рис. 160.** Дослід Б. Паскаля

## § 31. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ

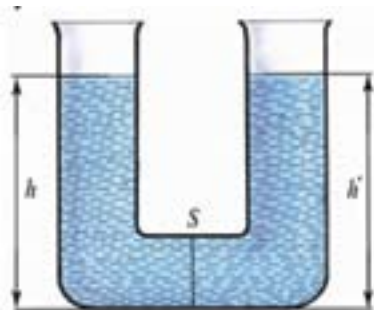


Рис. 161. Схема сполучених посудин

*У сполучених посудинах вільні поверхні рідини встановлюються на одному рівні.*

*Вільними називають поверхні, що відділяють рідину від газу (повітря).*

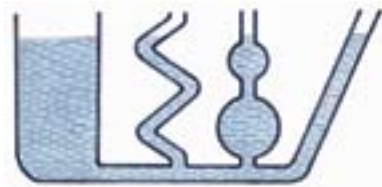


Рис. 162. У сполучених посудинах різної форми вільні поверхні рідини встановлюються на одному рівні

**1. Що таке сполучені посудини?** Найявністю гідростатичного тиску можна пояснити принцип сполучених посудин.

*Посудини, з'єднані між собою таким чином, що рідина може вільно переливатися з однієї посудини до іншої, називаються сполученими.*

Якщо у сполучені посудини налити рідину (рис. 161), то за умови рівноваги рідини тиск на площину перерізу  $S$  в спільному трубопроводі обох стовпів рідини буде однаковим:

$$p_1 = p_2, \text{ тобто } \rho gh = \rho gh', \text{ отже, } h = h'.$$

**2. Гідростатичний парадокс.** Дослід показує, що у сполучених посудинах різної форми (рис. 162) вільні поверхні рідини також встановлюються на одному рівні.

Описаний дослідний факт має історичну назву «гідростатичний парадокс». Але цей парадокс має очевидне пояснення: він є результатом прояву закону Паскаля.

**3. Використання сполучених посудин.** Принцип сполучених посудин широко використовується в побуті, а також у техніці та на виробництві.

Зокрема, сполучені посудини представляють собою чайник і носик чайника (рис. 163). Принцип сполучених посудин використовується у артезіанському колодязі (рис. 164) та водомірному склі (рис. 165). Шлюзи річок і каналів теж працюють за принципом сполучених посудин (рис. 166). Кровоносна система людини — також приклад сполучених посудин.

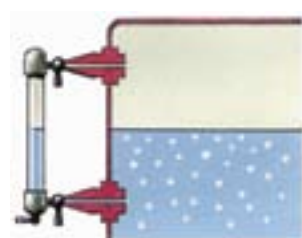




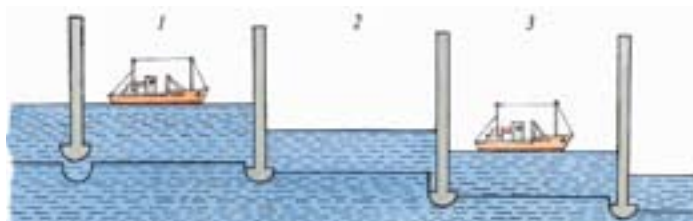
**Рис. 163.** Прояви принципу сполучених посудин при різних положеннях чайника



**Рис. 164.** Система артезіанського колодязя



**Рис. 165.** Водомірне скло



**Рис. 166.** Принцип будови шлюзів та шлюзування суден

### Подумайте і дайте відповідь

1. Які посудини називають сполученими?
2. Як встановлюються вільні поверхні однорідної рідини у сполучених посудинах?
3. Назвіть приклади застосування сполучених посудин у побуті й техніці.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 31.

1. На рис. 167, запозиченому з книжки нідерландського математика і інженера Симона Стевіна «Начала статyki», зображено людину, яка стоїть на дошці і тисне своєю вагою на міх з водою. Стевіна вразило, що висота стовпа води, який зрівноважує вагу людини, досить незначна. Поясніть цей факт. Спробуйте обчислити висоту стовпа рідини, оцінивши приблизно значення ваги людини і площі опори у реальному експерименті.



**Рис. 167.** Вагу людини зрівноважує стовп води, який має незначну висоту

2. Поміркуйте, як можна було б найпростішими засобами влаштувати фонтан у парку або у дворі. Накресліть схему такого пристрою та поясніть його дію.
3. У сполучені посудини налито воду. У праве коліно доливають олію. У якому коліні рівень рідини буде вищим? Відповідь обґрунтуйте.
- 4\*. У U-подібній трубці рівень води на 25 см нижчий за краї трубки. В одне коліно трубки потрохи доливають олію. На скільки будуть відрізнятися рівні рідин у колінах, коли в одному з них рідина дійде до краю?

### Розширте науковий кругозір

#### Дослідження морських глибин

Глибина морів і особливо океанів у деяких місцях досягає кількох кілометрів. Тому вода чинить на їх дно величезний тиск. Так, на глибині 10 км тиск сягає 100 000 000 Па (1000 атм). А є й більші глибини, зокрема, глибина Маріанської западини в Тихому океані складає понад 11 км!

Незважаючи на такі величезні тиски, існують риби та інші живі істоти, які живуть на глибині декількох кілометрів і витримують тиск у мільйони паскалів.

Організм людини здатний витримати занурення у воду без спеціального спорядження на глибину до 40 м, а за умови тренування — навіть до 80 м, де тиск води близько 8000 кПа. З кожним роком рекорд глибини занурення збільшується. Але є межа можливостей людини і на великих глибинах, якщо не вжити спеціальних заходів захисту, грудна клітка буде розчавлена тиском води.

На рисунках 168, 169 зображені засоби, які дозволяють людині занурюватись на глибину. Це, зокрема, акваланг з газовими балонами для дихання (рис. 168, а), батискаф (рис. 168, б), водолазний скафандр (рис. 169). Найбільша глибина, якої досягла людина в батискафі, становить 11 км.



а)



б)



**Рис. 168.** Засоби для занурення на глибину:  
а) акваланг; б) батискаф водолазний скафандр

**Рис. 169.** Водолазний скафандр

## § 32. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК

**Що таке атмосферний тиск.** Атмосфера утримується навколо земної поверхні силою тяжіння Землі. При цьому верхні шари атмосфери здійснюють тиск на нижні шари. Отже, той шар атмосфери, який безпосередньо прилягає до Землі, стиснутий найбільше і чинить тиск на земну поверхню. Цей тиск називають *атмосферним тиском*.

Але маса земної атмосфери за оцінками становить близько  $5,3 \cdot 10^{18}$  кг! Виникає питання: чому людина і тварини не відчують атмосферного тиску, адже його зазнають тканини, кровоносні судини і стінки інших порожнин у тілі? Справа в тому, що кров та інші рідини і гази, що заповнюють ці порожнини, стиснені до такого самого тиску, а тому пружні стінки судин і артерій зазнають однакового тиску як зсередини, так і ззовні, а, отже, не деформуються.

Повітряна оболонка Землі сягає висоти кількох тисяч кілометрів, а щільність атмосфери з висотою зменшується. Так, уже на висоті 11 км над Землею густина повітря у 4 рази менша, ніж біля її поверхні. У найвищих шарах (тисячі кілометрів над Землею) атмосфера переходить у так званий безповітряний простір. Тому підраховати атмосферний тиск так, як ми розраховували тиск рідини на дно посудини (§ 33), неможливо, оскільки густина повітря швидко зменшується з висотою.

Існуванням атмосферного тиску можна пояснити багато явищ, зокрема дію насосів, фонтанів тощо. Про його велике значення в житті людини ви вже знаєте з життєвої практики та уроків природознавства.

*Земля оточена атмосферою — повітряною оболонкою, яка представляє собою суміш декількох газів (азота, кисню, аргона, вуглекислого газу, парів води й інших)*

*Земна поверхня й усі тіла, що перебувають на ній, зазнають тиску всієї товщі повітря — атмосферного тиску*

*Значення атмосферного тиску значною мірою залежить від стану атмосфери, зокрема від швидкості руху молекул повітря (тобто температури) та інших чинників*

*Існування атмосферного тиску довів дослід Отто фон Геріке по розриву «магдебурзьких півкуль»*



Рис. 170. Гравюра з книги Геріке «Нові магдебурзькі досліди». Розрив півкуль упряжками коней

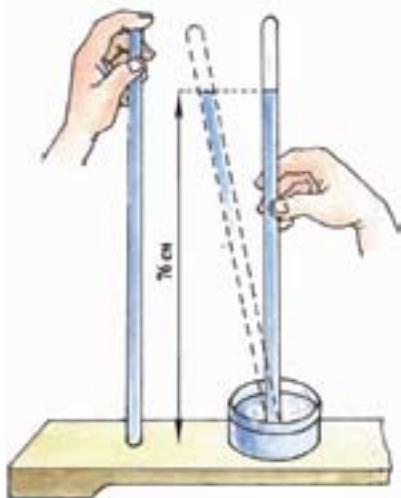


Рис. 171. Дослід Торрічеллі по вимірюванню атмосферного тиску

**2. Як виміряли атмосферний тиск? Дослід Торрічеллі.** Одним з перших експериментів, які довели існування атмосферного тиску, був дослід німецького винахідника, фізика і інженера **Отто фон Геріке (1602–1686)** з «магдебурзькими півкулями», виконаний у 1654 році. Він відкачав повітря з двох мідних півкуль, які були складені разом, і тиск зовнішнього повітря притиснув ці півкулі так сильно, що їх не могли розірвати дві упряжки коней (рис. 170).

Уперше виміряв атмосферний тиск видатний італійський фізик і математик Еванджеліста Торрічеллі у 1643 році.

Скляну трубку завдовжки близько 85 см, запаяну з одного кінця, заповнювали ртуттю і закривали відкритий кінець, щоб ртуть не виливалась (рис. 171). Після цього трубку перевертали і занурювали цей кінець у чашку зі ртуттю, а потім його відкривали. Ртуть у трубці опускалася і встановлювалася приблизно на 76 см вище, ніж у чашці зі ртуттю. У верхній частині трубки над ртуттю утворювався майже безповітряний простір — «торрічеллієва порожнина», заповнена парами ртуті.

Цей дослід став широко відомим і дістав назву *досліду Торрічеллі*. Торрічеллі вперше пояснив, що *стовп ртуті у трубці зрівноважується тиском атмосфери на поверхню ртуті у чашці*. Отже, *за висотою стовпа ртуті в трубці Торрічеллі можна визначити атмосферний тиск* і саме так він уперше був виміряний. Висота стовпа ртуті не завжди дорівнює 76 см: залежно від стану атмосфери вона чинить більший або менший тиск.

### Домашнє експериментальне завдання

Наповніть склянку водою до верхнього краю, закрийте аркушем паперу і переверніть склянку догори дном (рис. 172). Що при цьому відбувається? Поясніть результат експерименту. Зробіть рисунок. Етапи та результат експерименту запишіть у робочий зошит.



**Рис. 172.** Склянка з водою, закрита аркушем паперу та перевернута догори дном

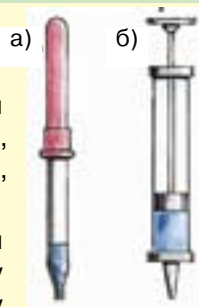
### Подумайте і дайте відповідь

1. Чим обумовлене існування атмосферного тиску?
2. Які явища підтверджують існування атмосферного тиску? Опишіть їх.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 32.

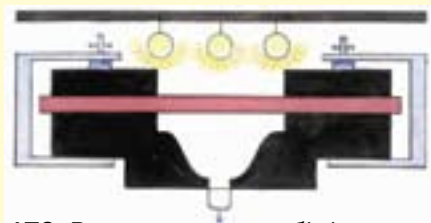
1. Поясніть дію таких медичних засобів: піпетки (рис. 173, а), медичного шприцу (рис. 173, б), лікарської банки різних конструкцій (рис. 175, а, б).
2. Поясніть, чому вода з пляшки в автопоїлці для птахів не виливається, а поповнюється знизу поїлки в міру того, як птахи випивають воду (рис. 175).
- 3\*. У промисловості використовується така сучасна технологія одержання виробів з пластмас. Пластмасовий лист закріплюють над формою-матрицею. Зверху його розігрівають, а знизу відкачують повітря (рис. 176). Поясніть, що при цьому відбувається.



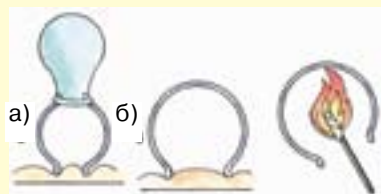
**Рис. 173.** Медичні засоби:  
а) піпетка;  
б) медичний шприц;



**Рис. 174.** Автопоїлка для птахів



**Рис. 176.** Виготовлення виробів із пластмас за сучасною технологією



**Рис. 175.** Лікарські банки різних конструкцій

## § 33. БАРОМЕТРИ

*Барометр (від грецьких слів *baros* — важкість, *metreo* — вимірюю)*



Рис. 177. Ртутний барометр

*Атмосферний тиск, що дорівнює тиску ртутного стовпа заввишки 760 мм, називають нормальним атмосферним тиском*

Барометри — це метеорологічні прилади для вимірювання атмосферного тиску.

**Ртутний барометр.** Прикріпивши до трубки зі ртуттю у досліді Торрічеллі вертикальну шкалу, отримаємо прилад — *ртутний барометр*, за допомогою якого можна вимірювати атмосферний тиск (рис. 177).

У ртутному барометрі за одиницю атмосферного тиску обрано *1 міліметр ртутного стовпа* (1 мм рт. ст.). Якщо барометр показує тиск 760 мм рт. ст., то це означає, що повітря чинить такий самий тиск, як і вертикальний стовп ртуті висотою 760 мм.

Обчислимо тиск ртутного стовпа висотою 1 мм. Скористаємося формулою гідростатичного тиску:

$$p = g \rho h, \text{ тоді}$$

$$p = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па.}$$

$$\text{Отже, } 1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ Па,} \\ \text{тоді } 760 \text{ мм рт.ст.} = 101325 \text{ Па} = 1013 \text{ гПа.}$$

**2. Барометр-анероїд.** На практиці для вимірювання атмосферного тиску використовують металевий барометр-анероїд (рис. 178, а, б, в). Основною його частиною є кругла металева коробка 1 з хвилястими (гофрованими) поверхнями (рис. 178, б). Для підвищення точності вимірювань з коробки відкачане повітря. Нижня поверхня коробки прикріплена до металевої плити. Верхня з'єднана з пружиною 2, під дією якої коробка підтримується в розтягнутому стані. При підвищенні атмосфер-

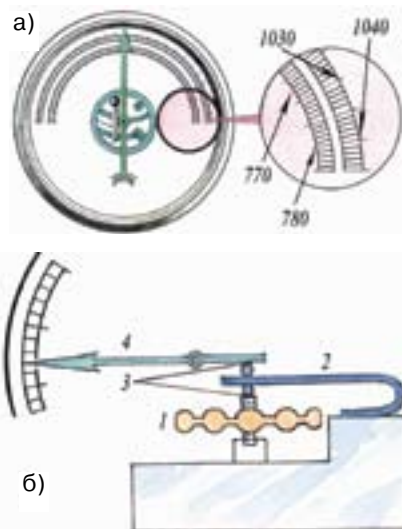


ного тиску коробка стискається і тягне за собою пружину 2, згинаючи її. При зниженні атмосферного тиску пружина долає пружність коробки і розгинається. За допомогою важелів 3 пружина з'єднана зі стрілкою 4, яка внаслідок зміни атмосферного тиску пересувається вздовж шкали, програду-йованої за показаннями ртутного барометра (рис. 178, а). Прилад вміщений у круглий футляр зі скляною кришкою. Барометр-анероїд значно зручніший у використанні й екологічно чистіший, ніж ртутний барометр. Покази барометра-анероїда треба порівнювати з показами більш точного ртутного барометра.

**3. Залежність атмосферного тиску від висоти. Вплив атмосферного тиску по погодні умови і стан людини.** Той факт, що атмосферний тиск залежить від висоти над поверхнею Землі, експериментально встановив Блез Паскаль. Він показав, що з підніманням угору висота ртутного стовпа зменшується на 1 см приблизно на кожні 107 м над рівнем моря (рис. 179). Атмосферний тиск у місцевостях, які розташовані на рівні моря, в середньому становить 760 мм рт. ст.

За допомогою барометра можна передбачати зміни погоди.

Атмосферний тиск спричинює важливі фізіологічні дії. При підвищеному тиску у людини може спостерігатися сповільнення пульсу і дихання, підвищення артеріального тиску, гальмування центральної нервової системи, болі у суглобах. Знижений тиск викликає так звану «гірську хворобу», яка супроводжується головними болями, серцебиттям, шумом у вухах тощо.



в)

**Рис. 178.** Барометр-анероїд: а), б) схема будови барометра-анероїда; в) діючий барометр-анероїд

*Тиск повітря з висотою зменшується, що пояснюється зменшенням з висотою густини повітря*



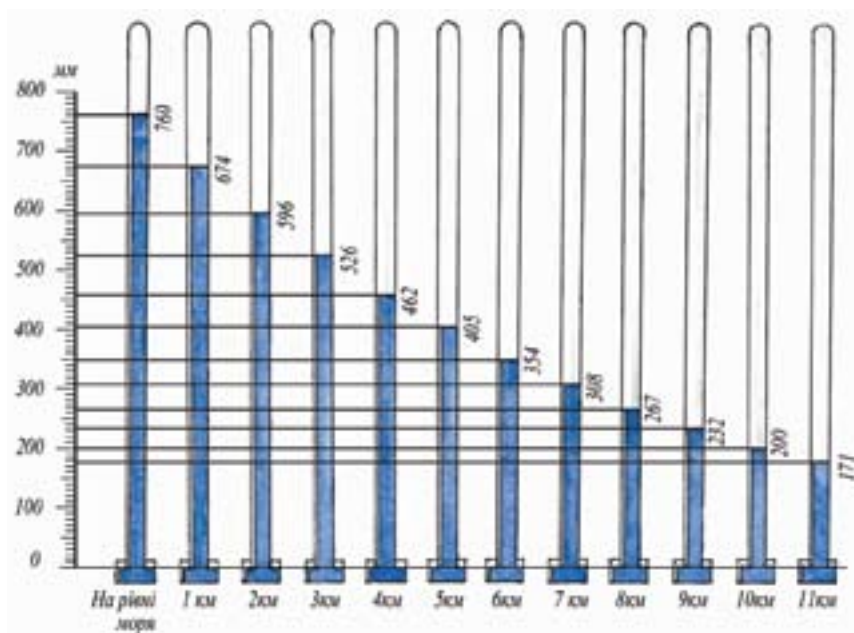


Рис. 179. Зменшення тиску повітря з висотою

### ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

**Барометри-висотоміри.** Барометром часто користуються для вимірювання висоти. Так, при порівняно невеликих висотах над рівнем моря, атмосферний тиск знижується на 1 мм рт. ст. на кожні 10 м підйому. Далі вгору зменшення атмосферного тиску стає менш помітним і на висоті 5000 м становить 0,5 мм рт. ст. на 10 м підйому.

Барометри-анероїди зі шкалою, за якою безпосередньо можна визначити висоту, називають *висотомірами* або *альтиметрами* (рис. 180). Їх застосовують в авіації і в альпінізмі під час сходження на гори. Альтиметри градуують в одиницях висоти.



Рис. 180. Висотомір (альтиметр)

**Фізичне знання в техніці**

Сьогодні набули поширення електронні барометри (рис. 181, а). Вони використовуються окремо або як основні складові метеостанцій — пристроїв для визначення погодних факторів і прогнозування змін в оточуючому середовищі (рис. 181, б). Така станція — це ваш особистий синоптик!



а)



б)

**Рис. 181.** Сучасне метеорологічне обладнання: а) електронний барометр; б) цифрова метеостанція

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Як називаються прилади для вимірювання атмосферного тиску?
2. Що представляє собою ртутний барометр?
3. Як обрано одиницю вимірювання атмосферного тиску «міліметр ртутного стовпа»? Який зв'язок між двома одиничними значеннями атмосферного тиску: 1 мм рт. ст. та 1 Па?
4. Який тиск вважається нормальним атмосферним тиском?
5. Опишіть будову та принцип дії барометра-анероїда.
6. Як і чому змінюється значення атмосферного тиску з висотою?
7. Наведіть приклади фізіологічних дій, які чинить атмосферний тиск.
- 8\*. Як за допомогою барометрів вимірюють висоту?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати****Вправа 33.**

1. Чи змінюватиметься рівень ртуті у трубці, якщо змінювати її вертикальне положення (нахилити трубку або підняти)?
2. Розгляньте шкалу барометра-анероїда, зображеного на рисунку 178, а. Визначте: а) одиниці, в яких проградуйовано його внутрішню і зовнішню шкали; б) інтервал вимірювання; в) ціну поділки кожної шкали.
3. Чому куля-зонд, яку запускають на метеорологічних станціях, роздувається з підняттям над поверхнею Землі і лопається у верхніх шарах атмосфери?
4. Чи однаковими будуть показання барометра-анероїда у приміщенні класу та на шкільному дворі? на першому, п'ятому і десятому поверхах? Відповідь обґрунтуйте.

## § 34. НАСОСИ. МАНОМЕТРИ



а)



б)

**Рис. 182.** Всмоктувальний насос: а) схема будови всмоктувального насоса; б) ручний свердловинний всмоктувальний насос

*Насоси — гідравлічні машини і пристрої для переміщення рідин або газів під напором або звичайним тиском.*

**Насоси.** Існуванням атмосферного тиску пояснюється дія водяних всмоктувальних насосів (рис. 182, а, б). Найпростіші всмоктувальні насоси були відомі ще за часів Аристотеля.

*Всмоктувальний насос* (рис. 182, а) складається з циліндра 1, всередині якого вгору і вниз рухається поршень 2, що щільно прилягає до стінок. У поршні та у нижній частині циліндра встановлені випускний клапан 3 та впускний клапан 4, які відкриваються лише вгору. Циліндр сполучається підвідною трубою з резервуаром води. Коли поршень рухається вгору, випускний клапан 3 залишається закритим, в той час як вода під дією атмосферного тиску входить у підвідну трубу насоса, піднімає впускний клапан 4 і рухається за поршнем. При русі поршня вниз вода, яка знаходиться під поршнем, тисне на клапан 4 і він закривається. Одночасно під тиском води відкривається клапан 3 у поршні і вода переходить у простір над поршнем. Коли ж поршень знову піднімається вгору, разом з ним піднімається і вода, яка над ним знаходиться. Ця вода виливається у відвідну трубу. Одночасно за поршнем піднімається нова порція води, яка при його русі вниз знову перейде у простір над поршнем, а при його русі вгору вилитиметься через відвідну трубу, і т.д.

Всмоктувальний насос використовується для подання води з водоймищ, колодязів, свердловин (рис. 182, б).

*Нагнітальний насос* (рис. 183) винайшов філософ Ктезібій Олександрійський (І ст. н. е.). Він відрізняється від усмоктувального насоса тільки тим, що його поршень 1 не має отвору, а випускний клапан 2 знаходиться внизу циліндра, поблизу впускного клапана 3. Зрозуміло, що клапан 3 має відкриватися назовні. Ктезібій також досліджував дію насосів, але він не зміг правильно пояснити, чому вони діють саме так. Нагнітальні насоси встановлюються у системах водопостачання, оскільки за їх допомогою можна підвищити тиск води.

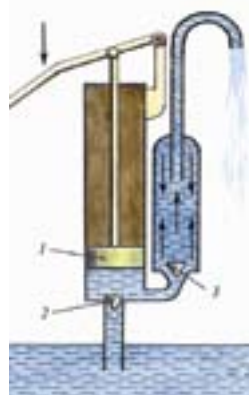


Рис. 183. Нагнітальний насос

**2. Манометри.** Дуже часто необхідно вимірювати тиски, які є меншими або більшими за атмосферний (наприклад, тиск газу, стиснутого в балоні). Для таких вимірювань використовують *манометри*. Розрізняють манометри *рідинні та металеві*.

*Рідинний манометр.* Загальний вигляд найпростішого рідинного манометра показано на рисунку 184.

Основною частиною рідинного манометра є U-подібна скляна трубка, яку заповнюють рідиною, і шкала для вимірювання висоти рівня рідини в кожному коліні трубки. Вони змонтовані на дерев'яному або металевому корпусі з підставкою. В обох колінах рідина встановлюється на одному рівні, оскільки на її поверхню діє лише атмосферний тиск.

Стан рівноваги рідини в манометрі встановиться тоді, коли надлишковий тиск стиснутого повітря врівноважиться гідростатичним тиском стовпа рідини, на якій вона піднялася. Отже, *зміну тиску можна*

*Манометр — від грецьких слів  $\mu\alpha\pi\omicron\varsigma$  — нещільний газ або пар,  $\mu\epsilon\tau\epsilon\omicron$  — вимірюю)*

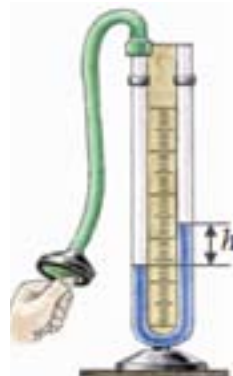
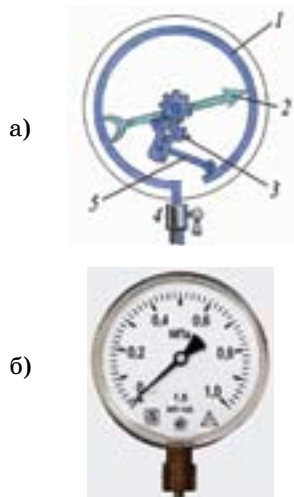


Рис. 184. Найпростіший рідинний манометр

**Приклад.** Якщо манометр водяний і висота  $h = 20$  см, то тиск, який виміряно манометром, дорівнюватиме:

$$p = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 103 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,2 \text{ м} = 1960 \text{ Па}$$



**Рис. 185.** Металевий манометр: а) схема будови манометра; б) технічний манометр для вимірювання великих тисків



**Рис. 186.** Манометр для вимірювання артеріального тиску

оцінити за висотою надлишкового стовпа рідини.

Зрозуміло, що достатньо виміряти на манометрі висоту стовпа рідини у правому коліні, щоб дізнатися, який тиск виміряно манометром:

$$p = \rho gh,$$

де  $p$  — тиск,  $g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $h$  — різниця висот стовпів рідини.

Водяний манометр належить до найпростіших та найчутливіших манометрів. Манометри можна заповнювати і ртуттю, але вони менш чутливі, оскільки густина ртуті у 13,6 рази більша за густину води.

**Металевий манометр.** У техніці часто використовують металеві манометри (рис. 185, а, б). Основною частиною такого манометра є зігнута у коло металева трубка 1 (рис. 185, б), один кінець якої закрито. Другий кінець трубки 4 сполучається з посудиною, у якій треба виміряти тиск. Зі збільшенням тиску трубка розгинається і рух її закритого кінця за допомогою важеля 5 та зубчастих коліс 3 передається стрілці 2, яка переміщується вздовж шкали приладу. Коли тиск зменшується, трубка внаслідок своєї пружності повертається у попередній стан, а стрілка знову встановлюється на відповідній поділці шкали.

**3. Манометри для вимірювання артеріального тиску.** Манометри для вимірювання артеріального тиску людини називають *тонометрами* або *сфігмоманометрами*. Цими приладами вимірюють тиски від 20 до 300 мм рт. ст. На рисунку 186 показано один із таких манометрів.

### Від теорії до практики

Урахування зміни атмосферного тиску з висотою і вплив цих змін на стан людини є обов'язковим при проектуванні і побудові хмарочосів.

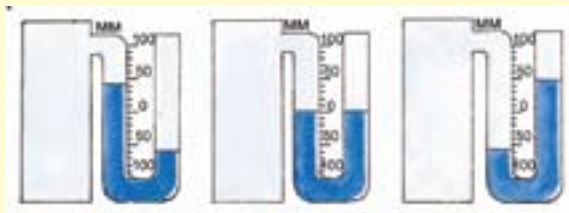
### Подумайте і дайте відповідь

1. Які пристрої називаються насосами?
2. Опишіть дію всмоктувального насосу. Для чого він використовується?
3. Чому у системах водопостачання встановлюються нагнітальні насоси?
4. Які прилади використовуються для вимірювання тисків, більших або менших від атмосферного?
5. Яка будова і принцип дії рідинного манометра? металевого манометра?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 34.

1. Рідинні манометри сполучені з посудинами (рис. 187). Визначте тиск у кожній з посудин, якщо рідиною в манометрах є вода. Атмосферний тиск становить 760 мм рт. ст.



**Рис. 187.** Рідинні манометри, сполучені з посудинами

2. Визначте тиск у посудинах (див. попередню задачу), якщо рідиною в манометрах є ртуть.
3. Чому дорівнює ціна поділки шкали манометра, зображеного на рисунку 188? Який тиск він показує? Якими будуть покази цього манометра, якщо його сполучити з балоном, тиск газу в якому дорівнює атмосферному?



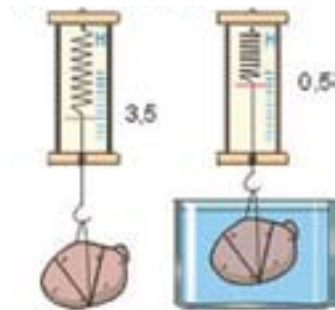
**Рис. 188.** Шкала манометра та його покази



## § 35. АРХІМЕДОВА СИЛА



**Рис. 189.** При зануренні м'яча у воду ви відчуєте дію сили, яка виштовхує його з води



**Рис. 190.** Різниця у показах динамометра при вимірюванні сил, що діють на тіло:  
а) у повітрі; б) у воді

*Виштовхувальна сила прямо пропорційно залежить від густини рідини, у яку занурене тіло, та від об'єму тіла*

**1. Виштовхувальна сила.** З'ясуємо, як діє рідина на занурене у неї тверде тіло. Для прикладу спробуйте занурити м'яч у воду — ви відчуєте досить значну протидію, немовби якась сила виштовхує м'яч з води (рис. 189).

Підвісимо до динамометра картоплину, зафіксуємо його покази (рис. 190, а), а потім опустимо картоплину у воду. Побачимо, що покази динамометра зменшаться (рис. 190, б). Різниця у показах динамометра дорівнює *виштовхувальній силі*, що діє на тіло.

Яка ж причина виникнення виштовхувальної сили? Якщо тіло занурити в рідину, то на його поверхню діють сили тиску. Оскільки тиск збільшується з глибиною, то сили тиску на нижню частину тіла, будуть більші, ніж на верхню. За рахунок різниці цих тисків і виникає виштовхувальна сила, спрямована вгору.

**2. Закон Архімеда.** Визначимо величину виштовхувальної сили, що діє на занурене в рідину тверде тіло. Виштовхувальна сила, що діє на тіло А, є рівнодійною сил тиску рідини на його поверхню (рис. 191, а).

Тепер уявимо, що тіло видалене і його місце зайняв об'єм цієї ж рідини, рівний за величиною об'єму тіла А (рис. 191, б). Очевидно, що на поверхню уявно виділеного об'єму діятимуть такі самі сили тиску, як й на тіло А. Це означає, що і рівнодійна сил тиску на тіло А (виштовхувальна сила) дорівнює рівнодійній сил тиску на виділений об'єм. Оскільки виділений об'єм знаходиться у рівновазі, то сили, які на нього діють,



компенсуються — це сила тяжіння  $mg$  та виштовхувальна сила  $F_A$  ( $F_A = mg = P$ ). Отже, рівнодійна  $F_A$  сил тиску на об'єм  $A$  дорівнює за величиною вазі витісненого об'єму рідини  $P$ . Оскільки, як було зазначено, виштовхувальна сила для виділеного об'єму співпадає з виштовхувальною силою для тіла  $A$ , ми приходимо до **закону Архімеда**: *на тіло, повністю занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, яка чисельно дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла і спрямована вертикально вгору*. Виштовхувальну силу називають **архімедовою силою** ( $F_A$ ).

**3. Дослідне визначення архімедової сили.** Значення архімедової сили можна знайти за допомогою досліду з важільними терезами (рис. 192).

До коротшої шальки терезів прикріпимо два металеві циліндри однакового об'єму: верхній — порожнистий, нижній — суцільний. Ці циліндри іноді називають «відерцем Архімеда». Зрівноважимо терези. Якщо під нижній циліндр підставити посудину з водою так, щоб він повністю занурився, терези втратять рівновагу: шалька терезів з циліндрами підніметься. Рівновага відновиться, якщо верхній порожній циліндр наповнити водою: це є доказом того, що вага зануреного циліндра зменшилася на вагу витісненої води в об'ємі циліндра. Закон Архімеда ще формулюють так: *тіло занурене в рідину, втрачає у своїй вазі стільки, скільки важить витіснена ним рідина*.

**4. Умови плавання тіл.** Ви неодноразово спостерігали, що кинутий у воду камінь відразу тоне (рис. 193, а), а деревина плаває (рис. 193, б).

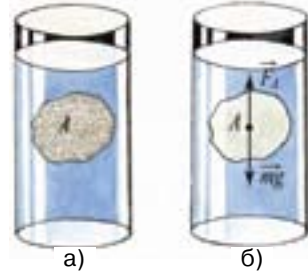


Рис. 191. Дія сил на тіло, занурене в рідину

**Силу Архімеда визначають за формулою:**

$$F_A = \rho_p g V,$$

де  $g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ,  $\rho_p$  — густина рідини, в яку занурене тіло;  $V$  — об'єм тіла

**Закон Архімеда справджується також і для газів. Розрахунок архімедової сили для газів здійснюється так само, як і для рідин**

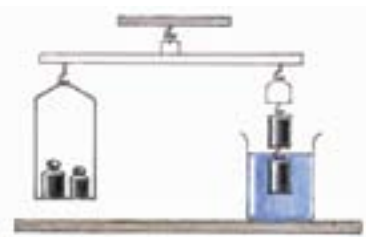


Рис. 192. Визначення архімедової сили за допомогою важільних терезів



а)



б)

**Рис. 193.** Умови плавання тіл:

а) для каменя  $F_{\text{тяж}} > F_A$ , тому він тоне; б) для деревини  $F_{\text{тяж}} < F_A$ , тому вона зринає



**Рис. 194.** Вага рідини в об'ємі зануреної частини айсберга дорівнює силі тяжіння

Виникає запитання: чому одні тіла тонуть, а інші плавають? Як ви вже знаєте, на тіло, занурене в рідину, діють дві сили — сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  (вниз) та архімедова сила  $F_A$  (вгору). Залежно від співвідношення між цими силами для даного тіла і даної рідини їх рівнодійна може бути спрямована вниз, вгору, а може й дорівнювати нулю. Відповідно до цього тіло або тоне, або зринає, або знаходиться у рівновазі в рідині.

Сформулюємо *умови плавання тіл*:

а)  $F_{\text{тяж}} > F_A$  — тіло тоне;

б)  $F_{\text{тяж}} < F_A$  — тіло зринає, поки не виконається умова:  $F_{\text{тяж}} = F_A = \rho_p g V$ ;

в)  $F_{\text{тяж}} = F_A$  — тіло знаходиться в рівновазі у рідині.

*Кожне тіло, яке плаває на поверхні рідини, занурюється в неї настільки, щоб вага рідини в об'ємі зануреної частини тіла дорівнювала силі тяжіння (рис. 194).*

**5. Архімедова сила і невагомість.** Чи діятиме архімедова сила у космосі? Точніше було б запитати: чи діятиме вона в умовах невагомість? Щоб відповісти на це запитання, дещо поміркуємо. Яка природа архімедової сили, що діє на занурене в рідину тіло? Архімедова сила виникає внаслідок того, що тиск рідини на нижню частину зануреного тіла більший, ніж тиск на верхню частину. Рівнодійна сил тиску, яка діятиме вертикально вгору, і є архімедовою силою.

Якщо ж тіло і рідина, в яку воно занурене, перебувають у стані невагомість, скажімо, на борту космічного корабля з вимкненими двигунами, то тиск з боку шарів рідини, зумовлений їх вагою, буде відсутній, а поняття «вниз», «вгору» втрачають зміст: архімедова сила не виникатиме,  $F_A = 0$ .

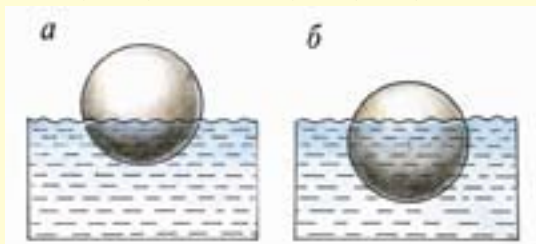
**Подумайте і дайте відповідь**

1. Як виникає виштовхувальна сила, що діє на тіло, занурене в рідину?
2. Сформулюйте закон Архімеда.
3. Що таке архімедова сила? За якою формулою її можна обчислити?
5. Опишіть дослід, який підтверджує, що виштовхувальна сила дорівнює вазі рідини, витісненої тілом.
6. За якої умови тіло плаває? зринає? тоне?

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 35.**

1. Чому судно з великою масою плаває, а цвях, який упав у воду, тоне?
2. \* Чи залежить виштовхувальна сила, що діє на занурене у рідину тіло, від глибини занурення?
3. На рисунку 195 зображено одне й те саме тіло, що плаває в двох різних рідинах. Яка рідина має більшу густину? Чому? Що можна сказати про вагу цього тіла і виштовхувальну силу в першому і другому випадках?



**Рис. 195.** Плавання одного і того самого тіла у рідинах з різною густиною

4. Коли в чайнику кипить вода, можна помітити, що з дна чайника піднімаються бульбашки повітря і пари, які по мірі підняття зростають і на поверхні води лопаються. Поясніть, чому піднімаються бульбашки?
5. Визначте, як відносяться маси підводної і надводної частин айсберга, що плаває в океані. Густина льоду дорівнює  $0,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ , а морської води —  $1,03 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  (див. рис. 194).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

### З'ясування умов плавання тіла в рідині

#### *Мета роботи*

Експериментально визначити умови, при яких тіло тоне, зринає і плаває.

*Прилади і матеріали:* 1) терези; 2) набір гир; 3) вимірювальний циліндр (мензурка); 4) пробірка-поплавець із корком; 5) дротяний гачок; 6) сухий пісок або шріт; 7) фільтрувальний папір або сухий клаптик тканини.

#### **Порядок виконання роботи**

1. Насипте в пробірку таку кількість піску (шроту), щоб вона, закрита корком, плавала в мензурці з водою у вертикальному положенні, а частина пробірки знаходилася над поверхнею води.

2. Визначте виштовхувальну силу, що діє на пробірку (вона дорівнює вазі води, витісненої пробіркою). Щоб знайти цю вагу, треба спочатку визначити об'єм витісненої води. Для цього зафіксуйте рівні води в мензурці до і після занурення пробірки у воду і за різницею цих рівнів визначте об'єм витісненої води. Знаючи об'єм витісненої води та її густину, обчисліть вагу води.

3. Вийміть пробірку з води, протріть її фільтрувальним папером або клаптиком тканини. За допомогою терезів визначте масу пробірки з точністю до 1 г і обчисліть силу тяжіння, яка на неї діє (це і є вага пробірки з піском у повітрі).

4. Насипте в пробірку ще стільки піску, щоб вона була повністю занурена у воду, але не тонула, а плавала. Знову визначте виштовхувальну силу й силу тяжіння. Зробіть це кілька разів, поки закрита корком пробірка не потоне.

5. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 16.

6. Зробіть загальний висновок щодо умов плавання тіл.

**Результати вимірювань і обчислень  
(до лабораторної роботи № 10)**

Таблиця № 16

№ дослідку	Виштовхувальна сила, $F = \rho_{\text{рід}} g V$ , Н	Вага пробірки з піском, $P = gm$ , Н	Стан пробірки- поплавця у воді (зринає, плаває тоне)
1.			
2.			
3.			
...			

**Контрольні запитання**

1. Поясніть, чому по мірі збільшення маси піску у пробірці глибина її занурення збільшується.
2. У посудині з водою плаває шматок льоду. Як зміниться рівень води, коли лід розтане?

**Додаткове завдання**

Поставте на одну з шальок терезів мензурку з водою. Зрівноважте терези за допомогою гир. Перевірте експериментально, що відбудеться з терезами, якщо у склянку з водою занурити палець, не торкаючись при цьому дна і стінок склянки? Поясніть одержаний результат.

## § 36. ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ. ПОВІТРОПЛАВАННЯ



Рис. 196. Найбільш допустима осадка судна — ватерлінія

*Україна має як морський, так і річковий торговельний та пасажирський флоти. Є в Україні й власна суднобудівельна промисловість.*

*Перша верф була збудована в Україні ще в 1788 р. у м. Миколаєві — нині це Миколаївський суднобудівельний завод, найбільший в Україні (рис. 197). Річкові судна та судна типу «річка-море» будуються ще й у Херсонському суднобудівельному об'єднанні та на Київському суднобудівельному заводі*

**1. Водний транспорт.** Незважаючи на те, що густина сталевих конструкцій корпусів сучасних суден набагато більша за густину води, проте завдяки наявності великих порожнин у корпусах суден, виникає достатня виштовхувальна сила для їх плавання.

*Глибина, на яку судно занурюється у воду, називається осадкою.*

Найбільшу допустиму осадку позначають на корпусі судна лінією, яка називається *ватерлінією* (від англійського слова «water-line») (рис. 196). Вага води, яка витискується судном при зануренні до ватерлінії, називається *водотоннажністю* судна.

Серед судноплавних річок та внутрішніх водоймищ України основним є Дніпровський каскад: Дніпро та його притоки — Прип'ять, Десна; головні порти — Київ, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Херсон. Судноплавними є також Дністер, Південний Буг, Дунай.

**2. Підводний човен.** А як здійснюється рух суден під водою? Розглянемо плавання підводного човна. Він повинен мати можливість занурюватись у воду, зривати, а також рухатись під поверхнею води, незважаючи на те, що на нього діє величезна сила тяжіння! Об'єм підводного човна змінити не можна, але може бути змінена його загальна вага. Для цього у конструкції підводного човна передбачені *баластні цистерни* (рис. 198). Набір забортної води

у баластні цистерни забезпечує збільшення сили тяжіння, що діє на човен (рис. 198, а). Ця сила стає більшою за архімедову силу, внаслідок чого човен поринає в морські глибини. Для підйому човна на поверхню баластні цистерни звільнюють від води за допомогою стиснутого повітря (рис. 198, б).

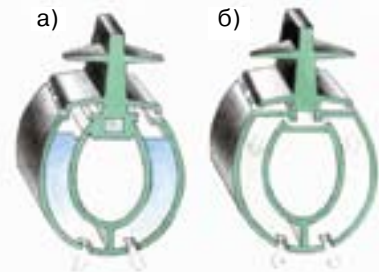
Сучасні підводні човни (рис. 199) вражають своїми розмірами: вони мають довжину в середньому від 100 до 180 метрів та висоту від 15 до 20 метрів! Швидкість руху підводних човнів сьогодні досягає 80 км/год (43 вузла). Водотоннажність підводних човнів — тисячі тонн, а глибина занурення — до 280 м. Підводні човни — це основне озброєння військово-морських сил різних держав світу. Вони використовуються також у науково-дослідних цілях, зокрема, для дослідження процесів у земній корі.

**3. Батискаф.** Крім підводних човнів, можливість плавати під поверхнею води мають батискафи. Це підводні апарати для океанографічних досліджень на великих глибинах. Вони рухаються за допомогою гребних гвинтів, які приводяться у рух моторами. Перший батискаф був побудований у 1948 році. Батискаф має легкий корпус «поплавков», який заповнюється речовиною, що мало стискається і легша за воду, наприклад, бензином. До поплавка кріпиться гондола, у якій підтримується нормальний тиск і знаходяться екіпаж, пульти керування та обладнання (рис. 200). Батискафи можуть занурюватись на глибини до декількох кілометрів.

**4. Повітроплавання.** Врахування архімедової сили є необхідним й у повітропла-



**Рис. 197.** Сухогруз «Микола Бажан» Чорноморського пароплавства (порт приписки Одеса), побудований на Миколаївському суднобудівельному заводі «Океан». Довжина судна — 215,4 м, осадка 12,3 м, водотоннажність 50150 т



**Рис. 198.** Зміна ваги підводного човна: а) баластні цистерни заповнюються забортною водою і човен занурюється; б) баластні цистерни звільнюються від води і човен зринає





**Рис. 199.** Підводний човен «Запоріжжя» військово-морських сил України; довжина — 91,3 м, водотоннажність — 2475 т



**Рис. 200.** Батискаф найвідомішого дослідника морських глибин Жака Іва Кусто



**Рис. 201.** Перший політ повітряної кулі братів Монгольф'є

ванні, де використовуються апарати, легші за повітря. Перші такі апарати були винайдені у 1783 році французами — братами Монгольф'є (рис. 201).

Незважаючи на те, що з часу винайдення повітряної кулі пройшло близько двох століть і за цей час відбувся бурхливий розвиток авіаційної й ракетно-космічної техніки, різновиди повітряних куль й сьогодні продовжують слугувати людям. Зокрема, аеростати та стратостати запускають як радіозонди — розвідники високих шарів атмосфери. Аеростати також використовуються в техніці, зокрема під час будівельно-монтажних робіт на висотних спорудах, для туристичних подорожей та як спортивна розвага (рис. 202).

У 1900 році у Німеччині був побудований перший дирижабль (від французького слова *dirigeable* — керований) — керований аеростат. Дирижаблі мають гондолу для розміщення пасажирів, екіпажу, обладнання. Переваги дирижаблів порівняно із літаками полягають в тому, що вони можуть нерухомо висіти у повітрі або підніматись і опускатись по вертикалі без використання двигунів. Дирижаблі є цінними і в наш час, за умов енергетичної кризи. Вони прості в керуванні, витрачають небагато палива, не створюють значних шумів і майже не забруднюють повітря. Одержуючи сьогодні друге життя, дирижаблі використовуються для розвантаження суден, монтажу ліній електропередач, піднімання та транспортування вантажів (рис. 203). Цікаво, що їх розглядають навіть як конкурентів гелікоптерам.



Рис. 202. Змагання повітряних куль у м. Кам'янець-Подільському



Рис. 203. Сучасний дирижабль для транспортування вантажів

### Фізичні дослідження в Україні

Чи знаєте ви, що перший в Україні дирижабль цивільного призначення «Київ» сконструював у 1911 році відомий інженер-конструктор у галузі дирижаблебудування **Федір Фердинандович Андерс** (1868–1926)? Він увесь час жив і працював у Києві, закінчив Київський політехнічний інститут. У 1924 році Андерс розробив оригінальний проект дирижабля, об'єм якого можна було змінювати під час польоту.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке осадка судна; ватерлінія; водотоннажність?
2. Що представляють собою підводні човни? батискафи?
3. За рахунок чого піднімається повітряна куля?
4. Що таке дирижабль? Які його переваги порівняно із літаками?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 36.

1. Як зміниться осадка судна при тому самому навантаженні після переходу з річки в море?
2. Які технічні особливості підводних човнів дозволяють їм занурюватись на глибину? зринути?
3. Відомо, що куля-радіозонд зазвичай на великій висоті лопається. З чим, на вашу думку, це пов'язане?

## Навчальний проект

### Розвиток судно- та повітроплавання

#### *Мета проекту*

Ознайомитись з історією розвитку судно- та повітроплавання та сучасним станом цих галузей науки і техніки в Україні і в світі. З'ясувати технічні характеристики водних та повітряних суден, їх основні особливості залежно від призначення. Набути навичок технічного моделювання.

*Знання з яких навчальних предметів будуть необхідні при роботі над проектом?*

1. Фізика.
2. Природознавство.
4. Трудове навчання.
3. Історія.

#### *Орієнтовні напрями роботи над проектом.*

##### *Теоретична частина проекту:*

#### **Повітроплавання**

1. Лоренцо Гузмао — піонер повітроплавання. Винахід братів Монгольф'є, перше випробування. Перший політ людини на аеростаті. Можливості і використання аеростатів.

2. Стратостати. Рекорд висоти. Стратостати як метеорологічні зонди. Стратостати у дослідженні космосу та у зв'язку.

3. Дирижаблі. Типи дирижаблів. Перші польоти дирижаблів.

#### **Судноплавання**

1. Історія суднобудування — від античних часів до сучасності.

2. Трансатлантичний лайнер «Титанік»: тріумф і трагедія.

3. Батискафи: історія створення і випробування. Огюст Пікар — винахідник батискафа. Занурення батискафа «Трієст» на дно Маріанської западини (1960 р.). «Бездна Челленджера».

4. Сучасна суднобудівельна галузь в Україні. Науково-дослідні судна Національної Академії наук України. Напрями наукових досліджень, у яких вони використовуються.

##### *Експериментальна частина проекту:*

1. Змоделювати, виготовити та запустити паперову повітряну теплову кулю.

2. Змоделювати, виготовити та запустити модель вітрильної яхти.

Запропонуйте свій варіант напрямів даного навчального проекту.

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 6

### Початковий рівень

1. Тіло з якою вагою чинить більший тиск на  $1 \text{ м}^2$  поверхні?  
А 20 Н.                      Б 200 Н.                      В 300 Н.                      Г 350 Н.
2. На якій глибині гідростатичний тиск води менший?  
А 10 м.                      Б 15 м.                      В 20 м.                      Г 25 м.
3. Що відбувається з тілом, вміщеним у рідину, якщо сила тяжіння, що діє на тіло, дорівнює силі Архімеда?  
А Тіло зринає.  
Б Тіло тоне.  
В Тіло знаходиться в рівновазі всередині рідини.  
Г Тіло плаває на поверхні рідини.

### Середній рівень

4. Який прилад використовується для вимірювання тисків, які є більшими від атмосферного?  
А Ареометр.                      Б Манометр.                      В Висотомір.                      Г Барометр.
5. На якій висоті від поверхні Землі тиск зменшується на 5 мм. рт. ст.?  
А 50 м.                      Б 55 м.                      В 60 м.                      Г 65 м.
6. Якого тиску зазнає драйвер на глибині 35 м у Чорному морі?  
Густина води  $1014 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .  
А 402, 5 кПа.                      Б 188, 2 кПа.                      В 398, 6 кПа.                      Г 347, 8 кПа.

### Достатній рівень

7. Чому у сполучених посудинах різної форми рідина встановлюється на одному й тому самому рівні?  
А Тому що посудини заповнені однією й тією самою рідиною.  
Б Тому що тиск рідини прямо пропорційний до висоти її стовпа.  
В Тому що тиск на вільних поверхнях рідини в посудинах різний.  
Г Тому що тиск на вільних поверхнях рідини в посудинах однаковий.

8. Що представляє собою сила Архімеда, що діє на тіло, вміщене у рідину?

- А Рівнодійну сил тиску рідини на бічні частини тіла.
- Б Рівнодійну сил тиску рідини на верхню частину тіла
- В Рівнодійну сил тиску рідини на нижню частину тіла.
- Г Рівнодійну сил тиску рідини на верхню і нижню частини тіла.

9. Вода витікає з крану питного кулера циліндричної форми під тиском 5 кПа. Який об'єм кулера? Площа дна кулера  $0,01 \text{ м}^2$ .

- А 6 л.
- Б 5 л.
- В 8 л.
- Г 10 л.

### Високий рівень

10. Від чого залежить виграш у силі при використанні гідравлічної машини?

- А Від відношення площ поршнів.
- Б Від густини рідини у машині.
- В Від різниці площ поршнів.
- Г Від висоти резервуарів машини.

11. Як зміняться при стисненні газу його густина і тиск?

- А Густина зменшиться, а тиск збільшиться.
- Б Густина збільшиться, а тиск зменшиться.
- В Густина і тиск зростуть.
- Г Густина і тиск зменшаться.

12. Після розвантаження баржі її осадка у річці зменшилася на 1 м. Визначте масу вантажу, знятого з баржі, якщо площа її перерізу на рівні води  $200 \text{ м}^2$ .

- А 210 т.
- Б 196 т.
- В 250 т.
- Г 169 т.

## ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 6

1. До пружини динамометра підвісили металеве тіло. У якому випадку покази динамометра будуть більшими: якщо занурити тіло у воду або у спирт? (*Відповідь*: при зануренні тіла у спирт покази динамометра більші).

2. Діаметр зовнішнього ілюмінатора батискафа «Трієст» дорівнює 400 мм. Який тиск чинила вода на ілюмінатор під час занурення батискафа у Маріанську западину на глибину 10915 м? Густина води у Тихому океані  $1022 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . У скільки разів цей тиск перевищує нормальний атмосферний тиск? (*Відповідь*:  $\approx 109$  МПа; приблизно у 1076 разів).

3. Найвища гірська вершина на Землі Джомолунгма (або Еверест) має висоту 8848 м. Атмосферний тиск на цій висоті складає близько 33% від нормального атмосферного тиску. Обчисліть: а) атмосферний тиск на вершині Евереста; б) на скільки цей тиск менший від нормального атмосферного тиску. (*Відповіді*: а)  $\approx 251$  мм. рт. ст.; б) на 509 мм. рт. ст.).

4. Густина води в поверхневому шарі Чорного моря дорівнює  $1014 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . На глибині 80 м вона досягає максимального значення й далі до дна майже не змінюється. Визначте: а) максимальну густину води у Чорному морі, якщо гідростатичний тиск на глибині 80 м дорівнює 800 кПа; б) різницю між максимальним і мінімальним значеннями густини води у Чорному морі. (*Відповіді*: а)  $1020 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; б)  $6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

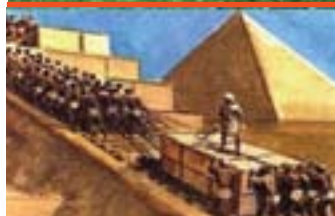
5. Водопостачання будинків забезпечується за допомогою водонапірних башт, які створюють тиск води в системі за рахунок підняття води при їх наповненні. Визначте тиск води у водопровідному крані на 1-му та 9-му поверхах 9-ти поверхового житлового будинку, який обслуговує водонапірна башта висотою 50 м. Висота одного поверху — 3,5 м. Оцініть одержані результати. (*Відповідь*: 490 кПа; 181,3 кПа: напір води з підвищенням поверху зменшується).

# Частина IV

## Механічна робота та енергія

### Розділ 7. РОБОТА. ЕНЕРГІЯ. ПОТУЖНІСТЬ

- Чи однаковий зміст має термін «робота» у фізиці й у побуті?
- Яка фізична величина характеризує швидкість виконання роботи?
- Що таке «кінська сила»?
- За допомогою чого будували піраміди стародавні єгиптяни?
- Підйомний кран – основний механізм сучасного будівництва?
- Які засоби використовує людина для полегшення своєї праці?
- Що стверджує «золоте правило механіки»?
- Як характеризують ефективність машин і механізмів?
- Закон збереження енергії — найважливіший закон природи?
- Яким чином можна поповнювати енергетичні запаси Землі?





## § 37. РОБОТА СИЛИ. МЕХАНІЧНА РОБОТА

1. **Робота — фізична величина.** Слово «робота» ми часто використовуємо у побутовій мові, маючи на увазі виконання певних дій — фізичних або розумових. Проте у фізиці поняття роботи набуває наукового змісту — це *фізична величина, яку можна якісно і кількісно оцінити*. Термін «механічна робота» (або «робота сили») використовується лише тоді, коли *під дією сили відбувається переміщення тіла*. Наприклад, людина піднімає вантаж (рис. 204), кінь везе воза (рис. 205), буксир тягне баржу (рис. 206). Все це приклади виконання *механічної роботи*.

Ці та інші приклади показують, що механічна робота виконується за двох умов: *якщо є прикладена сила і є переміщення тіла внаслідок дії цієї сили*. Ці дві умови називають *ознаками виконання роботи*.

Робота виконується й тоді, коли сила, діючи на тіло, *зменшує його швидкість*. Це, наприклад, робота сили тертя, робота сили тяжіння під час руху тіла вгору.

Якщо ж, незважаючи на дію сили, переміщення тіла не відбувається, то сила ніякої роботи не виконує — робота дорівнює нулю. Це має місце у випадку, коли переміщення відбувається у напрямі, перпендикулярному до напрямку сили.

2. **Від чого залежить значення виконаної роботи?** Чим більша сила діє на тіло, тим більшою є виконана цією силою робота. З іншого боку, чим більшою буде відстань, на яку переміщується тіло під дією сили, тим більшу роботу ця сила виконає.



Рис. 204. Людина, піднімаючи вантаж, виконує роботу



Рис. 205. Кінь виконує роботу, коли везе воза

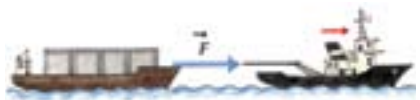


Рис. 206. Буксир тягне баржу, виконуючи при цьому роботу

*Робота залежить від величини прикладеної сили та переміщення*



Джеймс Джоуль  
(1818—1889)

На практиці використовують кратні й дільні одиниці роботи: кілоджоуль (кДж), мегаджоуль (МДж), міліджоуль (мДж):

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} = 10^3 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ МДж} = 1000 \text{ 000 Дж} = 10^6 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж}$$

Дано:

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$s = 10 \text{ м}$$

$$\mu = 0,02$$

$A = ?$

Механічна робота (робота сили) — це фізична величина, яка *дорівнює добутку сили, що діє на тіло, на переміщення тіла у напрямі дії цієї сили*. Механічна робота (робота сили) позначається літерою  $A$ . Отже, робота сили = сила  $\times$  відстань або  $A = Fs$ , де  $A$  — робота сили,  $F$  — величина сили,  $s$  — переміщення тіла під дією сили.

Надалі замість термінів «механічна робота» або «робота сили» будемо користуватись терміном «робота».

**3. Одиниця роботи.** Одиницею роботи в СІ є *джоуль* (1 Дж), названа на честь видатного англійського фізика Джеймса Джоуля (1818—1889).

*1 Дж — це робота, яка виконується силою 1 Н на відстані 1 м.*

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

**4. Приклад обчислення роботи.**

*Приклад 1.* Яку роботу треба виконати, щоб забезпечити рівномірний рух санчат масою 60 кг на відстані 10 м? Вважати, що коефіцієнт тертя санчат по снігу дорівнює 0,02.

*Розв'язання*

Відомо, що у випадку руху одного тіла по поверхні іншого на нього діє сила тертя. Для забезпечення рівномірного руху санчат, силу тертя слід компенсувати силою тяги, яка дорівнює силі тертя за величиною і спрямована в бік руху санчат. Тому  $F_{\text{тяги}} = F_{\text{тер}}$ .

При русі санчат сила тяги виконує роботу:

$$A = F_{\text{тяги}} \cdot s = F_{\text{тер}} \cdot s = \mu \cdot g \cdot m \cdot s,$$

де  $F_{\text{тер}} = \mu \cdot g \cdot m$  ( $\mu$  — коефіцієнт тертя).

*Перевіримо* правильність одиниці шуканої величини за отриманою формулою:  $[A] = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$ .

*Обчислення:*  $A = 0,02 \cdot 60 \cdot 9,8 \cdot 10 = 120 \text{ (Дж)}$ .

*Відповідь:* для забезпечення рівномірного руху санчат треба виконати роботу 120 Дж.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Назвіть дві ознаки того, що має місце виконання роботи.
2. Наведіть приклади виконання роботи. 3. Від чого залежить значення виконаної роботи?
4. За допомогою якої формули обчислюють роботу?
5. Яка одиниця роботи в СІ? Назвіть кратні й дольні одиниці роботи.
6. Чи може робота дорівнювати нулю?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 37.

1. Поясніть, в якому із наведених нижче явищ сила тяжіння виконує роботу:
  - а) куля котиться горизонтальною поверхнею;
  - б) куля підвішена до нерухомого підвісу;
  - в) парашутист опускається на тренувальний майданчик.
2. Людина переміщує вантаж на відстань 50 м, прикладаючи до нього силу 300 Н. Яку роботу виконує при цьому людина?
- 3\*. Сила тяги двигуна автомобіля 2000 Н. Яку роботу виконує двигун за 10 с, якщо автомобіль рухається зі швидкістю  $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ?

## § 38. ПОТУЖНІСТЬ

*Величина виконаної роботи та час, за який вона була виконана (темп виконання), визначають ефективність праці людини та виробничість будь-якої машини*



Джеймс Уатт  
(1736–1819).

Для характеристики виконаної роботи важливою є не лише величина роботи, а й темп її виконання. Однакова механічна робота може бути виконана за різний час. Скажімо, потрібно підняти на п'ятий поверх лантух зерна. За допомогою ліфта цю роботу можна виконати за кілька секунд. Людина, згинаючись від такої ноші, зійде сходами за кілька хвилин. Багатолемішний трактор виорає гектар землі за 40—50 хв, а для виконання цієї самої роботи з використанням коня не вистачить і робочого дня.

Отже, важливо знати не лише величину роботи, а й темп (швидкість) її виконання.

**1. Потужність — фізична величина.** Для характеристики швидкості виконання роботи користуються такою величиною, як *потужність*. Потужність позначається літерою  $N$ .

*Потужність — це фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи до часу, протягом якого її було виконано.*

Потужність обчислюють за формулою:

$$\text{потужність} = \frac{\text{робота}}{\text{час}} \text{ або } N = \frac{A}{t},$$

де  $N$  — потужність,  $A$  — робота,  $t$  — час виконання роботи.

**2. Одиниці потужності.** Одиницею потужності в СІ є ватт (1 Вт), названий на честь англійського фізика й інженера **Джеймса Уатта (1736–1819)**.

1 Вт — це потужність, при якій за 1 с виконується робота в 1 Дж.

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Наведемо значення потужностей деяких механізмів:

- мотоцикл «Харлей Девідсон» — 51 кВт (70 к.с.);
- зерноприбиральний комбайн — 245 кВт (330 к.с.);
- літак АН-225 «Мрія» (найважчий у світі літак, розроблений ОКБ імені О.К. Антонова і побудований на Київському механічному заводі) — 320 000 кВт (435 000 к.с.).

**3. Приклади обчислення потужності і роботи.** *Приклад 1.* Визначити потужність потоку води, якщо за хвилину через греблю електростанції протікає 120 м<sup>3</sup> води, а висота падіння води становить 25 м.

Дано:

$$h = 25 \text{ м}$$

$$V = 120 \text{ м}^3$$

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

$$t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

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

$N = ?$

*Розв'язання*

Масу води, що падає з греблі, визначаємо за формулою:  
 $m = \rho V.$

Сила тяжіння, що діє на воду:  $F_{\text{тяж}} = gm.$

Робота, яку виконує потік води за хвилину:  $A = F_{\text{тяж}} h.$

Тоді потужність потоку води:

$$N = \frac{A}{t}; N = \frac{F_{\text{тяж}} h}{t} = \frac{g \cdot m \cdot h}{t} = \frac{g \cdot \rho \cdot V \cdot h}{t}.$$

*Перевіримо* правильність одиниці шуканої величини за отриманою формулою:

$$[N] = \frac{\text{Н} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}} = \text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

*Обчислення:*

$$N = 9,8 \cdot 1000 \cdot 120 \cdot \frac{25}{60} \approx 490\,000 \text{ (Вт)} = 490 \text{ (кВт)}.$$

*Відповідь:* потужність потоку води становить 490 кВт.

**На практиці використовують кратні й дольні одиниці потужності: кіловат (кВт), мегават (МВт), міліват (мВт):**

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 10^3 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт} = 10^{-3} \text{ Вт}.$$

**Дотепер використовується старовинна позасистемна одиниця потужності — «кінська сила» (скорочено 1 к.с.):**

$$1 \text{ к.с.} \approx 735,5 \text{ Вт}.$$

*Приклад 2.* Яку роботу виконує двигун потужністю 100 кВт за 30 хв?

*Дано:*

$$N = 100 \text{ кВт} = 100000 \text{ Вт}$$

$$t = 30 \text{ хв} = 1800 \text{ с}$$

$A = ?$

*Розв'язання*

З формули потужності  $N = \frac{A}{t}$  одержимо формулу для обчислення виконаної роботи:  $A = Nt$ .

*Перевіримо* правильність одиниці шуканої величини за отриманою формулою:

$$[A] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{Дж}.$$

*Обчислення:*

$$\begin{aligned} A &= 100000 \cdot 1800 = 180\,000\,000 \text{ (Дж)} = \\ &= 1,8 \cdot 10^8 \text{ (Дж)} = 180 \text{ (МДж)}. \end{aligned}$$

*Відповідь:* двигун виконує роботу 180 МДж.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Наведіть приклади, коли одна й та сама робота виконується протягом різного часу.
2. Доведіть, що потужність є фізичною величиною.
3. За якою формулою обчислюють потужність?
4. Яка одиниця потужності в СІ? Назвіть кратні й дольні одиниці потужності.
5. Як визначити виконану роботу, якщо відомі потужність і час виконання роботи?
6. Скористайтеся мережею Інтернет і наведіть приклади потужностей різних механізмів.

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 38.

1. При підніманні санчат на гору виконано роботу 800 Дж за 16 с. Обчисліть потужність, яку було розвинуто при переміщенні санчат.
2. Потужність двигуна кімнатного вентилятора 35 Вт. Яку роботу він виконує за 10 хв?
3. Штангіст піднімає штангу масою 200 кг на висоту 2 м за 0,4 с. Яку потужність при цьому розвиває спортсмен?

## § 39. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. ВАЖІЛЬ

**1. Прості механізми.** Пристрої, призначені для перетворення сили, називають простими механізмами.

Кожен з вас у побуті користувався простими механізмами, зокрема, ножицями, плоскогубцями або щипцями для горіхів. До простих механізмів відносяться: важіль, блок, похила площина, зубчаті колеса, шарніри, підйомники та багато інших. Найчастіше прості механізми застосовують для одержання *виграшу у силі* в декілька разів.

**2. Важіль.** Щоб підняти важкий камінь (рис. 207) робітник має прикласти до нього силу  $F$ , яка подолає силу тяжіння  $\vec{F}_{\text{тяж}}$ , що діє на камінь. У деяких випадках зусиль людини для виконання таких дій не вистачає. Проте застосування важеля допомагає рухати навіть дуже важкі предмети.

*Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі (опори) під дією сил, що прикладені до його кінців.* Важелі бувають першого і другого родів залежно від взаємного розташування осі (опори) та прикладених сил.

Розглянемо приклади піднімання вантажу з використанням лома як важеля (рис. 208, а, б).

Нехай лом підведений під камінь і спирається на підкладений брусок, який є точкою опори (рис. 208, а). До лома прикладені такі сили: сила тиску руки робітника на вільний кінець лома (спрямована вниз)

*З давніх-давен людина при виконанні механічної роботи використовує різноманітні пристрої, які дозволяють перетворювати сили (змінювати їх величину або напрям)*



Рис. 207. Для піднімання каменя необхідно подолати силу тяжіння, що на нього діє

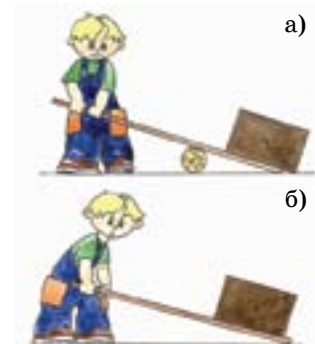


Рис. 208. Використання важелів для піднімання вантажу: а) важіль першого роду (лом); б) важіль другого роду (тачка)





Рис. 209. Використання важелів при спорудженні давньоегипетських пірамід



Рис. 210. Використання важелів в сучасному будівництві

**Важелі повсюдно застосовують у побуті та у будівництві**

**У загальному випадку плечем сили називають найкоротшу відстань від точки опори до лінії дії прикладеної сили**

та сила тиску каменя на підведений під нього кінець лома (теж спрямована вниз). Отже, у цьому випадку точка опори важеля знаходиться між точками прикладання сил і обидві сили спрямовані в один бік. Це *важіль першого роду*. Сили, прикладені до важеля першого роду, схематично зображені на рис. 211, а.

У другому випадку (рис. 208, б) точка опори знаходиться на одному кінці лома (з боку каменя), сила руки (спрямована вгору) діє на інший його кінець, а сила тиску каменя (спрямована вниз) прикладена між ними. Таким чином, сили прикладені з одного боку від точки опори і спрямовані протилежно — це *важіль другого роду*. Сили, прикладені до важеля другого роду, схематично зображені на рис. 211, б.

З історії відомо, що 3000 років тому під час спорудження пірамід у Стародавньому Єгипті за допомогою важелів пересували і піднімали важкі кам'яні брили (рис 209). Сьогодні важелі теж широко використовуються у будівництві (рис 210).

**Правило важеля.** За допомогою важеля можна одержати *виграш у силі*. Від чого це залежить? Розглянемо найпростіший приклад, коли важелем є стержень з віссю обертання, а діючі сили перпендикулярні до нього. Схематично такі важелі зображено на рисунку 211, а, б.

Відстані від точки опори важеля до точок прикладання сил називаються *плечами сил* (інколи їх називають плечами важеля). На рис. 211 плечем сили  $F$  є відстань  $BO$ , плечем сили  $P$  — відстань  $AO$ ).

При певних співвідношеннях між діючими силами та довжинами їх плечей, важіль перебуває у рівновазі. Понад 2000 років тому давньогрецький учений Архімед встановив *правило* (умову) рівноваги важеля:

*важіль перебуває у рівновазі, якщо сили, що на нього діють, обернено пропорційні до плечей цих сил.*

Це правило має назву *правила важеля* і записується у вигляді формули:

$$\frac{OB}{OA} = \frac{P}{F}.$$

Знаючи правило важеля, можна пояснити, як за допомогою простого механізму отримати *виграш у силі*. Зокрема, *велику силу, прикладену до короткого кінця важеля можна зрівноважити набагато меншою силою, прикладеною до його довгого кінця*.

Пояснимо це на прикладі тачки (схема тачки як важеля зображена на рис. 211, б). Очевидно, що плече сили  $P$  ( $AO$ ) набагато менше, ніж плече сили  $F$  ( $BO$ ). Отже, щоб зрівноважити тачку, сила  $F$  має бути набагато менша, ніж сила  $P$ . Оскільки сила  $F$  — це сила, яку прикладає людина для переміщення вантажу за допомогою тачки, то одержуємо *виграш у силі*.

Ця обставина була сформульована ще у давнину таким чином: «те, що ми виграємо у силі, ми програємо у шляху». Наведене положення має загальний характер і дуже важливе значення, тому воно одержало назву «золоте правило» механіки. «Золоте правило» механіки практично виконується лише у тих випадках, коли рух простих механізмів є рівномірним.

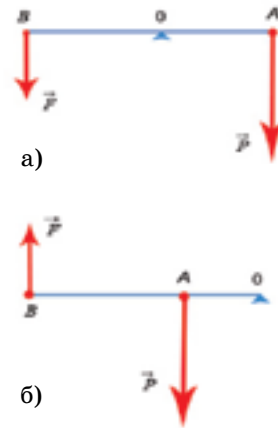


Рис. 211. Сили, що діють на важіль: а) першого роду; б) другого роду

*Важіль дає виграш у силі в стільки разів, у скільки плече однієї сили довше, ніж плече другої сили.*

*У всіх випадків використання простих механізмів діє «золоте правило механіки»: у скільки разів виграється в силі, у стільки разів програється у відстані*

### Розширте науковий кругозір

Найбільш величезну з давньоєгипетських пірамід — піраміду Хеопса споруджували 100 тисяч людей протягом 20 років.

### Подумайте і дайте відповідь

1. Які механізми називають простими?
2. Що таке важіль? Для чого використовують важелі?
3. Поясніть дію важелів першого роду; другого роду.
4. Сформулюйте умову рівноваги важеля.
5. Виконайте рис. 208 у зошиті і зобразіть сили, що діють на важіль першого і другого роду.
6. У чому полягає зміст «золотого правила» механіки?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 39.

1. За допомогою важеля камінь масою 150 кг підняли на висоту 16 см. Довжини плечей сил дорівнюють 20 і 60 см. Визначте: а) яке зусилля приклали, щоб підняти камінь; б) яку роботу виконано за допомогою важеля.
2. У парових котлах застосовують запобіжні клапани (на рис. 212 такий клапан зображено у розрізі). Який вантаж треба підвісити на довшому плечі важеля, якщо тиск у котлі має бути не більшим, ніж 12 атм. Площа клапана —  $3 \text{ см}^2$ , плечі важеля відносяться як 1:5. Маса клапана і важеля не враховувати.
3. Який вантаж можна підняти за допомогою крана, зображеного на рис. 213, якщо маса противаги становить 1 т? Довжини плечей важеля виміряйте по рисунку.
4. Поясніть дію весла як важеля (див. рис. 103 ).



Рис. 212. Запобіжний клапан



Рис. 213. Підйомний кран

### Підготуйте повідомлення

1. Застосування важелів у техніці й побуті.
2. Важелі в організмах людини, тварин і комах.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

### Вивчення умови рівноваги важеля

#### Мета роботи

Ознайомитись з будовою та принципом дії важеля. Експериментально перевірити умову рівноваги важеля.

*Прилади і матеріали:* 1) лабораторний важіль; 2) штатив з муфтою; 3) металевий стержень для підвішування важеля; 4) набір тягарців масою по 102 г; 5) лінійка; 6) динамометр (рис. 214).



Рис. 214. Прилади і матеріали до роботи №11

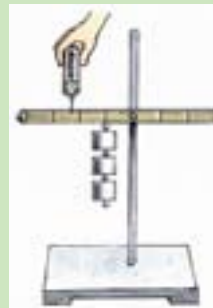


Рис. 215. Установка до лабораторної лабораторної роботи № 11

#### Порядок виконання роботи

1. Затисніть металевий стержень у штативі та підвісьте на ньому важіль. Обертаючи гайки на кінцях важеля, зрівноважте його у горизонтальному положенні.

2. **Важіль першого роду.** Підвісьте три тягарця на лівій частині важеля і один на правій. Переміщуючи тягарці уздовж важеля, зрівноважте його (рис. 214). Визначте сили, що діють на ліву та праву частини важеля, та плечі цих сил. Зобразіть схему важеля першого роду та сили, що на нього діють.

3. Повторіть дослід, змінюючи кількість тягарців на лівій і правій частинах важеля. Для кожного досліду обчисліть відношення сил та плечей сил. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 17.

### Результати вимірювань і обчислень (до лабораторної роботи №11)

Таблиця № 17

Номер досліджу	Схема важеля	Сили		Плечі сил		Відношення	
		$F_1$ , Н	$F_2$ , Н	$l_1$ , м	$l_2$ , м	$F_1 / F_2$	$l_2 / l_1$
Важіль першого роду							
1.							
2.							
Важіль другого роду							
3.							
4.							

4. **Важіль другого роду.** Підвісьте три тягарця на лівій частині важеля і зрівноважте його за допомогою динамометра (рис. 215). Визначте сили, що діють на ліву частину важеля, та плечі цих сил. Зобразіть схему важеля другого роду та сили, що на нього діють.

5. Повторіть дослід, змінюючи кількість тягарців на лівій частині важеля. Для кожного досліджу обчисліть відношення сил та плечей сил. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 17.

6. Аналізуючи експериментально одержані відношення сил та плечей, перевірте, чи підтверджують результати дослідів умову рівноваги важеля.

7. Зробіть висновки щодо:

- принципу дії важеля;
- результатів експериментальної перевірки правила важеля;
- експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

#### Контрольні запитання

1. Чи можна правило важеля назвати законом? Відповідь обґрунтуйте.
2. Поясніть падіння дерев під час буревію, використовуючи правило важеля. Зробіть відповідний рисунок.

#### Додаткове завдання

Використовуючи лабораторний важіль, змодельуйте таке його положення, при якому ви отримаєте виграш у силі в 4 рази.

## § 40. РІВНОВАГА ТІЛА. МОМЕНТ СИЛИ

### 1. Що таке рівновага тіла?

*Механічний стан тіла, у якому воно не змінює свого положення в просторі, називають рівновагою.*

Якщо тіло перебуває у рівновазі, то це означає, що дії на нього з боку інших тіл компенсуються.

Розглянемо диск, який може здійснювати обертальний рух. Якщо диск не обертається (рис. 216, а), то це означає, що сила  $F$  компенсована іншою силою (ця сила на рисунку не показана). Якщо ж диск обертається, то це означає, що сила  $F$  здійснює певну обертальну дію (рис. 216, б).

За яких умов тіло під дією сил не буде обертатися, тобто буде перебувати у стані рівноваги? З'ясуємо це на прикладі вивчення рівноваги твердого тіла, що має закріплену вісь обертання.

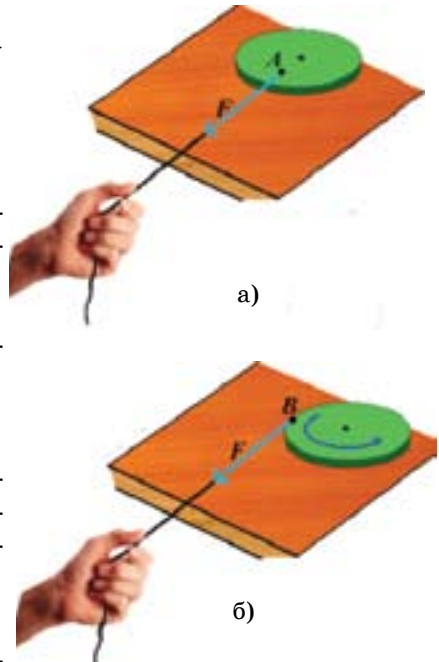
**2. Момент сили як фізична величина.** Як відомо з § 39, прикладом тіла, що має закріплену вісь обертання, є важіль. Скористаємося вже встановленою вище умовою рівноваги важеля (рис. 211):

$$\frac{OB}{OA} = \frac{P}{F}.$$

З цієї пропорції отримаємо:

$$F \cdot OB = P \cdot OA.$$

У лівій частині рівності є добуток сили  $F$  на її плече  $OB$ , а в правій частині — добуток сили  $P$  на її плече  $OA$ .



**Рис. 216.** Диск, який може здійснювати обертальний рух: а) диск знаходиться у рівновазі; б) диск обертається під дією сили  $F$

*Сила, момент якої відносно даної осі дорівнює нулю, не спричинює обертання навколо цієї осі*

*Момент сили — це фізична величина, що чисельно дорівнює добутку сили на її плече.*

$$M = F \cdot d,$$

де  $d$  — плече сили.

Встановимо одиницю моменту сили. Якщо сила дорівнює 1 Н, а її плече 1 м, то

$$\begin{aligned} M &= 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = \\ &= 1 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ \text{(один ньютон-метр).} \\ [M] &= 1 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

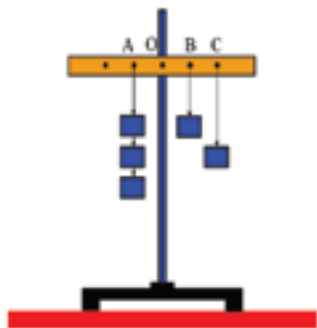


Рис. 217. Рівновага планки під дією декількох сил

Добуток сили на її плече позначають літерою  $M$ . Увівши відповідні позначення:

$$F \cdot OB = M_1, P \cdot OA = M_2,$$

отримаємо умову рівноваги важеля в іншому вигляді:

$$M_1 = M_2.$$

З цього можна зробити такий висновок: обертальну дію сили, визначає не величина сили, а добуток цієї сили на її плече. Тому, *добуток сили на її плече є мірою обертальної дії сили*. Цю міру називають *моментом сили*. Отже,  $M$  — момент сили.

**3. Умова рівноваги твердого тіла, що має закріплену вісь обертання.** Встановлену вище умову рівноваги важеля ( $M_1 = M_2$ ) можна поширити на випадки дії декількох сил, прикладених до тіла. Покажемо це на прикладі.

Візьмемо дерев'яну планку з отвором посередині і помістимо її на тонкий стержень, закріплений у штативі (рис. 217). Ліворуч від осі обертання планки підвісимо у точці  $A$  на відстані 10 см ( $d_1$ ) три тягарця масою по 102 г кожний. Отже, точка  $A$  є точкою прикладання сили  $F_1 = 3\text{ Н}$ . Під дією сили  $F_1$  планка почне обертатися проти годинникової стрілки. Щоб компенсувати обертальну дію сили  $F_1$ , до другого кінця планки підвісимо тягарець масою 102 г у точці  $B$  теж на відстані 10 см ( $d_2$ ) від осі обертання. Отже, точка  $B$  є точкою прикладання сили  $F_2 = 1\text{ Н}$ , яка обертає планку за годинниковою стрілкою. Побачимо, що рівноваги планки (її горизонтального положення) ще не досягнуто. Щоб домогтися рівноваги планки, необхідно підвісити в точці  $C$  ще



один тягарець масою 102 г. Отже, точка  $C$  є точкою прикладання сили  $F_3 = 1$  Н, яка теж обертає планку за годинниковою стрілкою. Вимірявши відстань  $OC$  встановимо, що вона дорівнює 20 см ( $d_3$ ).

Визначимо моменти сил  $F_1$ ,  $F_2$  і  $F_3$ .

$$M_1 = F_1 \cdot d_1 = 3 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = F_2 \cdot d_2 = 1 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = F_3 \cdot d_3 = 1 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 0,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Легко переконатися, що

$$M_1 = M_2 + M_3.$$

Розглянутий приклад дозволяє сформулювати загальну умову рівноваги тіла, що має закріплену вісь обертання:

*Тіло, що має закріплену вісь обертання, перебуває у рівновазі тоді і тільки тоді, коли сума моментів сил, що обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил, які обертають тіло проти годинникової стрілки.*

Це твердження називають *правилом моментів сил*.

**4. Блоки. Нерухомий блок.** Розглянемо дію ще одного простого механізму — блока.

Блок — це колесо із жолобом, що може обертатися відносно осі (*нерухомої або рухомої*). Через блок по жолобу перекидається мотузка (рис. 218, а, б).

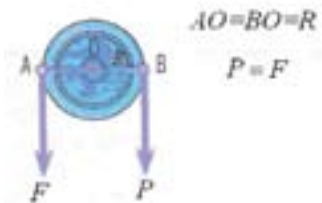
Розглянемо блок, який обертається навколо закріпленої (*нерухомої*) осі. Такий блок називають *нерухомим блоком*.

До одного кінця перекинутої через блок мотузки прикріпимо вантаж вагою  $P$  (рис. 218, б). Під дією цього вантажу мотузка буде рухатися вниз і здійснювати обертальну дію за годинниковою стрілкою. Щоб

**Правило моментів сил:** тіло, що має закріплену вісь обертання перебуває у рівновазі за умови, що момент сили, який обертає тіло проти годинникової стрілки, дорівнює сумі моментів сил, що обертають тіло за годинниковою стрілкою



а)

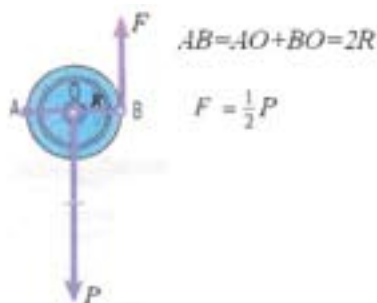


б)

**Рис. 218.** Нерухомий блок:  
а) використання на практиці;  
б) сили і плечі сил, що прикладені до обох кілець блока



а)



б)

**Рис. 219.** Рухомий блок:  
а) використання на практиці;  
б) сили і плечі сил, що прикладені до обода колеса блока

**Рухомий блок дає виграв у силі і дозволяє піднімати вантажі за допомогою сил, вдвічі менших за вагу вантажів**

компенсувати цю дію треба до іншого кінця мотузки прикласти певну силу  $F$ , яка буде діяти проти годинникової стрілки. Якою має бути сила  $F$ ?

Скористаємося умовою рівноваги тіла, що має вісь обертання (правилом моментів сил). Для цього визначимо моменти сил  $P$  і  $F$ . Врахуємо, що плечем сили  $P$  є відрізок  $BO$ , а плечем сили  $F$  — відрізок  $AO$ . При цьому  $AO = R$  і  $BO = R$ , де  $R$  — радіус колеса блока. Тоді

$$M_1 = P \cdot AO = P \cdot R;$$

$$M_2 = F \cdot BO = F \cdot R.$$

У випадку зрівноваженого блока  $M_1 = M_2$ . Тоді  $P \cdot R = F \cdot R$ , отже,  $P = F$ .

Таким чином, нерухомий блок не дає виграву *ані у силі, ані у шляху*. Проте він широко застосовується на практиці, оскільки дозволяє змінити *напрямок* сили.

**5. Рухомий блок.** При застосуванні такого блоку один кінець мотузки закріплюють на опорі, а до другого кінця мотузки, перекинутої через блок, прикладають силу  $F$ . Вантаж вагою  $P$  прикріплюють до обійми в якій закріплена вісь блока (рис. 219, а).

З'ясуємо, коли рухомий блок буде зрівноваженим. Оберемо за вісь обертання точку  $A$ , яка лежить на вертикальній лінії, що проходить вздовж закріпленої частини мотузки (рис. 219, б). У такому разі сила  $F$  буде здійснювати обертальну дію проти годинникової стрілки, а вага вантажу  $P$  — за годинниковою стрілкою. Визначимо моменти цих сил, враховуючи, що  $AO = R$  і  $BO = R$ , де  $R$  — радіус колеса блока:

$$M_1 = P \cdot AO = P \cdot R;$$

$$M_2 = F \cdot (AO + BO) = F \cdot 2R.$$

За умови, що блок зрівноважений  $M_1 = M_2$ . Тоді

$$F \cdot 2R = P \cdot R, \text{ звідки } F = \frac{P}{2}.$$

Отже, за допомогою рухомого блока можна підняти вантаж, прикладаючи силу, вдвічі меншу за вагу вантажу. Таким чином, рухомий блок дає виграти у силі, але програє у шляху.

Описані властивості нерухомого і рухомого блоків використовують при розв'язанні практичних задач. Досить часто застосовуються пристрої, які є поєднанням нерухомих і рухомих блоків (рис. 220).



Рис. 220. Система нерухомого і рухомого блоків

*Запам'ятайте: жодний з механізмів не дає виграву у роботі!*

#### Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке рівновага тіла? Наведіть приклади тіл, що перебувають у рівновазі.
2. Від чого залежить обертальна дія сили?
3. Що називають моментом сили? Яка одиниця моменту сили?
4. Сформулюйте правило моментів.
5. Що таке блок? Які види блоків ви знаєте? Чим вони відрізняються?
6. Для чого використовують нерухомий і рухомий блоки?

#### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

##### Вправа 40.

1. Поясніть зміст виразу: «Силами можна керувати». Обґрунтуйте твердження про те, що жодний з механізмів не дає виграву у роботі.
2. Робітник піднімав вантаж масою 30 кг на висоту 5 м, використовуючи у першому випадку нерухомий блок, а у другому — рухомий. Визначте для кожного з випадків: 1) силу, яку прикладав робітник, піднімаючи вантаж; 2) відстань, на яку переміщується вільний кінець мотузки перекинutoї через блок; 3) роботу, виконану робітником.

## § 41. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМУ

*У реальних умовах на величину виконаної роботи впливають тертя та характеристики і рух самих механізмів*

*Кожний механізм виконує корисну і повну роботу*

**Повна і корисна робота.** Розглядаючи дію таких механізмів, як важіль або блок, ми не враховували тертя, а також вагу самих важеля або блока. Тому при виконанні роботи будь-яким механізмом розрізняють *корисну і повну роботу*.

*Корисна робота ( $A_k$ ) — це робота, для виконання якої використовується механізм.* Наприклад, корисна робота підйомного крану — це робота по підйому вантажу.

Але поряд з корисною роботою усі механізми одночасно виконують роботу проти сил тертя та по переміщенню самого механізму або окремих його частин (наприклад, піднімання лома або тачки, мотузки у блоці або самого блока, якщо він рухомий).

Отже, крім корисної є ще й повна робота. *Повна (затрачена) робота ( $A_n$ ) включає корисну роботу та роботу, що витрачається додатково у процесі використання механізму.* Повна (затрачена) робота завжди більша за корисну.

При роботі будь-якого механізму корисна робота  $A_k$ , яку виконує цей механізм, завжди становить лише частину повної (затраченої) роботи  $A_n$ :

$$A_n > A_k \text{ або } \frac{A_k}{A_n} < 1.$$

**Коефіцієнт корисної дії.** Важливою кількісною характеристикою ефективності дії будь-якого механізму є його *коефіцієнт корисної дії* (скорочено ККД).

Коефіцієнтом корисної дії механізму називають відношення корисної роботи  $A_k$  до повної (затраченої) роботи  $A_n$ :

$$\text{ККД} = \frac{A_{\text{корисна}}}{A_{\text{повна}}}.$$

*ККД є безрозмірною величиною*

Зазвичай ККД виражають у відсотках і позначають грецькою літерою  $\eta$  («ета»):

$$\eta = \frac{A_k}{A_n} \cdot 100\%.$$

ККД будь-якого механізму або машини завжди менший за одиницю. Тому конструктори працюють над підвищенням ККД різних машин і механізмів. Для цього зменшують тертя, використовують спеціальні матеріали та мастила, підшипники тощо.

*Важливим завданням сучасної техніки є створення таких машин і механізмів, ККД яких наближується до одиниці*

#### Подумайте і дайте відповідь

1. Яку роботу вважають корисною; повною?
2. Чи може корисна робота бути більша за затрачену (повну)?
3. Що таке ККД механізму?
4. Як визначають ККД? В яких одиницях його виражають?
5. \* Чому ККД не може дорівнювати одиниці або бути більшим за одиницю (100%)?
6. Якими засобами можна збільшити ККД механізму?

#### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

##### Вправа 41.

1. За допомогою нерухомого блока піднімають відро з піском масою 22 кг на висоту 5 м. Сила, яку людина прикладає до мотузки, дорівнює 240 Н, а відстань, пройдена кінцем мотузки, за який тягне людина — 5 м. Визначте ККД цього блока.
2. \* Підйомник, який приводиться в рух двигуном потужністю 200 кВт, піднімає 180 т землі на висоту 100 м за 25 хв. Який ККД підйомника?
3. Запропонуйте метод збільшення ККД нерухомого і рухомого блоків.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

### Визначення ККД похилої площини

#### Мета роботи

Еспериментально визначити ККД при підйомі тіла по похилій площині; з'ясувати залежність ККД від висоти похилої площини.

**Прилади і матеріали:** 1) штатив з муфтою і лапкою; 2) дерев'яна дошка; 3) дерев'яний брусок; 4) динамометр; 5) набір важків масою по 100 г кожний з двома гачками; 6) вимірювальна стрічка.



Рис. 221. Засоби вимірювання та схема установки до лабораторної роботи № 12

#### Теоретичні відомості

*Похила площина — один з простих механізмів.* По похилій площині доцільно піднімати тіла, оскільки вона дає *виграш в силі*. Якщо за допомогою похилої площини довжиною  $l$  і висотою  $h$  піднімається тіло масою  $m$ , то ККД цієї площини розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{A_k}{A_n} \cdot 100\% = \frac{mgh}{F_T l} \cdot 100\%,$$

де  $A_k = mgh = Ph$  ( $P$  — вага тіла);

$A_n = F_T l$  ( $F_T$  — сила тяги, яка прикладається до тіла при його рівномірному підйомі по похилій площині).

#### Порядок виконання роботи

1. Встановіть похилу площину під кутом  $20^\circ$ — $30^\circ$  до горизонтальної поверхні, закріплюючи дошку в лапці штатива (рис. 221).
2. Виміряйте довжину  $l$  і висоту  $h$  похилої площини.
3. За допомогою динамометра виміряйте вагу дерев'яного бруска  $P$ .
4. Закріпіть брусок до динамометра і *рівномірно* піднімайте його вгору вздовж похилої площини. За шкалою динамометра визначте силу тяги  $F_T$ .

5. Обчисліть корисну роботу по підйому бруска *вертикально вгору* на висоту  $h$ :  $A_k = Ph$ .

6. Обчисліть повну виконану роботу по підйому бруска *на таку ж висоту  $h$  вздовж похилої площини*:  $A_n = F_T l$ ;

7. Обчисліть ККД похилої площини. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 18.

8. Покладіть на дерев'яний брусок два тягарця масою по 102 г і, не замінюючи висоти похилої площини, обчисліть ККД похилої площини при підйомі бруска з тягарцями. Результати вимірювань обчисліть і запишіть у таблицю 18.

9. Збільшіть висоту  $h$  похилої площини (кут її нахилу). Повторіть попередні досліди і обчисліть ККД похилої площини. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 18.

**Результати вимірювань і обчислень  
(до лабораторної роботи № 12)**

Таблиця 18

№ досліду	$l$ , м	$h$ , м	$P$ , Н	$F_T$ , Н	$A_k$ , Дж	$A_n$ , Дж	ККД, %
1.							
2.							
3.							

10. Зробіть висновки щодо:

- залежності ККД при підйомі тіла по похилій площині від маси тіла;
- залежності ККД при підйомі тіла по похилій площині від її висоти;
- експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи

**Контрольні питання**

1. Для чого доцільно використовувати похилу площину? Поясніть її дію як простого механізму.
2. Чи може ККД похилої площини дорівнювати 100 %?

**Додаткове завдання**

За результатами експерименту визначте роботу сили тертя у кожному досліді і з'ясуйте, від чого вона залежить.



## § 42. ЩО ТАКЕ ЕНЕРГІЯ?



Рис. 222. Забивання паль під фундамент за допомогою будівельної машини — копера

*Будь-яке рухоме тіло має здатність виконувати роботу*

*Енергія — від грецького слова *energia* — дія, діяльність.*

**1. Здатність тіла виконувати роботу.** Прості механізми здатні виконувати роботу, але вони не можуть «запасати» цю здатність, оскільки, одержуючи її в одній своїй частині, одночасно витрачають в іншій. Наприклад, людина піднімає тачку з одного кінця, при цьому на іншому кінці піднімається вантаж. Але є й такі пристрої, які можуть накопичувати роботу «про запас», а потім її виконувати. Зокрема, заводячи годинник, ми виконуємо роботу по стисненню пружини, яка, розпрямляючись, приводить у рух зубчаті колеса і стрілки — годинник працює. Через певний час запас «працездатності» механізму годинника зменшується і його знову треба заводити. Піднятий на деяку висоту вантаж не виконує роботу, але якщо він упаде, то, наприклад, може забити в землю палю (рис. 222).

Отже, *будь-яке рухоме тіло має здатність виконувати роботу.*

**2. Що таке енергія?** У всіх розглянутих вище прикладах робота виконувалася лише при *зміні стану тіла*: розкручування пружини, падіння вантажу, скочування кульки. Поки ці зміни не відбулися, робота не виконувалася — тобто тіла мали *запас роботи*.

*Фізична величина, що визначає запас роботи, яку може виконати тіло при зміні свого стану, називається енергією.*

Енергію позначають літерою  $E$  (або  $W$ ).

Чим більшу енергію має тіло, тим більшу роботу воно здатне виконати. У процесі взаємодії тіл відбувається обмін енергією.

Енергія вимірюється в тих самих одиницях, що й робота, оскільки зміна енергії визначається роботою, яка при цьому виконується. Тому кажуть, що робота є кількісною мірою зміни енергії:

$$\Delta E = A,$$

де  $\Delta E$  — зміна енергії тіла в результаті виконання роботи;  $A$  — виконана робота.

*Тіло може виконувати роботу лише у тому випадку, якщо воно має енергію*

*До механічних видів енергії відносяться: енергія, яку має підняте над землею тіло, енергія деформованого тіла, енергія рухомого тіла.*

### Домашнє експериментальне завдання

Візьміть шматок гуми та невеличку пластмасову кульку. На столі (або на підлозі) зафіксуйте певну точку, яку ви обираєте за нуль відліку, і покладіть на неї кульку. Розтягніть гуму на 5 см і подійте за її допомогою на кульку. Спостерігайте за рухом кульки і поясніть, за рахунок чого вона почала рухатися. Зафіксуйте відстань, на яку відкотиться кулька від точки, обраної за нуль відліку. Повторіть дослід, розтягнувши гуму на 10 см. Запишіть етапи та результати досліду у робочий зошит і поясніть їх.

### Подумайте і дайте відповідь

1. За наявності чого тіла здатні виконати роботу?
2. Яку фізичну величину називають енергією?
3. Що є мірою зміни енергії?
4. В яких одиницях вимірюється енергія?
5. Які види енергії відносяться до механічної енергії? Наведіть приклади тіл, які мають механічну енергію.
- 6.\* Яке основне завдання сучасної енергетики?

### Розв'яжіть задачі та оцініть результати

#### Вправа 42.

1. Поясніть, яким чином можна оцінити здатність тіла до виконання роботи?
2. Чому стальна кулька, що скочується з похилої площини і вдаряється об дерев'яний брусок, надає йому руху? (рис. 224).
3. Для чого необхідно заводити годинник? Чим пояснюється зупинка годинника, який вчасно не був заведений?

## § 43. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ ТА ЇЇ ВИДИ

*Механічна енергія залежить від швидкостей і взаємного розташування тіл*

*У механіці розрізняють два види енергії: потенціальну і кінетичну*

*Потенціальна енергія обумовлена взаємним розташуванням тіл (або частин одного й того самого тіла)*

*Потенціальний — від латинського слова *potentia* — можливий*

*Потенціальна енергія не залежить від того, по якому шляху відбувався підйом тіла, а визначається лише положенням тіла (висотою, на яку воно підняте)*

**1. Механічна енергія.** Механічна енергія є кількісною мірою механічного руху та взаємодії тіл. Вона визначається механічним станом тіла.

Механічний стан тіла характеризується координатою і швидкістю. Відповідно до цього розрізняють два види механічної енергії: *потенціальну і кінетичну*.

**2. Потенціальна енергія.** Потенціальну енергію мають тіла, підняті відносно поверхні Землі, а також стиснуті пружини, розтягнуті гумові стрічки. Коли кажуть про потенціальну енергію тіла, зазвичай мають на увазі інші тіла, з якими це тіло взаємодіє. Тому її називають ще *енергією взаємодії*.

*Механічна енергія, яка визначається взаємним розташуванням тіл, що взаємодіють (або частин одного й того самого тіла), називається потенціальною енергією.* Потенціальну енергію позначають  $E_n$ .

**3. Потенціальна енергія тіла, на яке діє сила тяжіння.** Визначимо потенціальну енергію тіла, піднятого над Землею. Для цього обчислимо роботу  $A$  сили тяжіння  $F_{тяж}$ , яка виконується при падінні тіла з точки  $O$  в точку  $A$  (рис. 223), які відповідно розміщені на висотах  $h_1$  і  $h_2$  відносно нульового рівня (поверхні стола, Землі тощо). Відстань між цими точками  $s = h_1 - h_2$ , тому робота тяжіння дорівнюватиме:

$$A = F_{тяж} s = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2.$$

Але, як відомо, робота є кількісною мірою зміни енергії, тоді

$$A = \Delta E_n = E_{n1} - E_{n2} = mgh_1 - mgh_2.$$

Таким чином, добуток  $mgh_1$  визначає потенціальну енергію  $E_{n1}$  тіла в точці  $O$ , а добуток  $mgh_2$  — потенціальну енергію  $E_{n2}$  тіла в точці  $A$ .

Отже, у загальному випадку потенціальна енергія тіла, піднятого на висоту  $h$ , визначається формулою:

$$E_n = mgh.$$

**4. Кінетична енергія.** Вам вже відомо, що будь-яке рухоме тіло має енергію, а, отже, може виконати роботу.

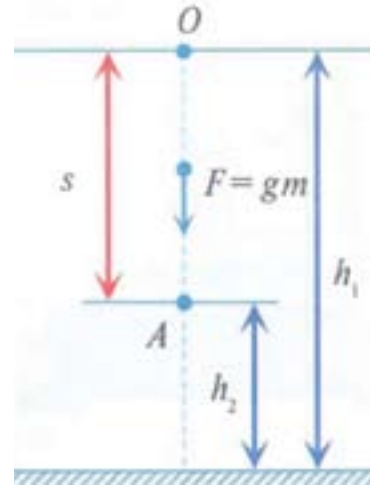
*Енергія, яку тіло має внаслідок свого руху, називається кінетичною енергією. Кінетичну енергію позначають  $E_k$ . Її ще називають енергією руху.*

*Кінетична енергія залежить від маси і швидкості рухомого тіла. Чим з більшою швидкістю рухається тіло і чим більшу масу воно має, тим більшу роботу може виконати, а, отже, тим більша його кінетична енергія. Кінетична енергія обчислюється за формулою:*

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

де  $m$  — маса тіла, а  $v$  — його швидкість.

**5. Потенціальна і кінетична енергії взаємно перетворюються.** У природі, техніці й побуті часто можна спостерігати перетво-



**Рис. 223.** Зміна потенціальної енергії тіла при падінні з точки  $O$  в точку  $A$

*За рахунок кінетичної енергії води обертається турбіна на гідроелектростанції, працюють водяні млини. Кінетична енергія вітру використовується для роботи млинів, вітряних електростанцій, водопідйомників, для руху вітряльних суден*



Рис. 224. Перетворення механічної енергії при русі маятника

*За наявності сил тертя механічна енергія не зберігається*

*Закон збереження механічної енергії є частковим випадком загального закону збереження і перетворення енергії: енергія тіла нікуди не зникає і ні з чого не виникає: вона лише переходить від одного тіла до іншого або перетворюється з одного виду на інший*

рення одного виду механічної енергії в інший: потенціальної в кінетичну, а кінетичної в потенціальну. Наприклад, під час падіння води з греблі її потенціальна енергія перетворюється на кінетичну. У маятнику, який коливається (рис. 224), ці види енергії по чергово переходять один в один.

**6. Закон збереження повної механічної енергії.** Одне й те саме тіло може одночасно мати і потенціальну, і кінетичну енергію. Сума потенціальної і кінетичної енергії тіла (або системи тіл) — *це їх повна механічна енергія:*

$$E = E_n + E_k.$$

Дослідами доведено, що під час взаємоперетворень потенціальної і кінетичної енергії має місце закон збереження повної механічної енергії:

*повна механічна енергія тіла або замкнутої системи тіл, на які не діють сили тертя, залишається сталою.*

Замкнутою (ізолюваною) називається система тіл, на кожне з яких не діють сили з боку тіл, що не входять до цієї системи.

Отже, якщо повна механічна енергія тіла якимось чином змінилася, то ця зміна сталася за рахунок енергії іншого тіла або інших видів енергії.

Закон збереження енергії виконується повсюдно. Зокрема, при падінні води з греблі її потенціальна енергія перетворюється на кінетичну, а кінетична приводить в рух турбіну електростанції і перетворюється на електричну енергію. З випадками взаємоперетворень різних видів енергії ви ознайомитесь при подальшому вивченні фізики.

**Висловіть свою думку**

Чому закон збереження енергії є найважливішим законом природи?

**Розширте науковий кругозір**

Потенціальну енергію, яка обумовлена взаємодією частин одного й того самого тіла має стиснутий газ, який використовують, зокрема, у відбійних молотках, будівельних пістолетах, пневматичних автомобільних амортизаторах.

**Подумайте і дайте відповідь**

1. Якими характеристиками визначається механічний стан тіла? Від чого залежить механічна енергія?
2. Назвіть два види механічної енергії.
3. Яку енергію називають потенціальною енергією? кінетичною енергією? Як їх можна обчислити?
4. Наведіть приклади взаємоперетворень кінетичної і потенціальної енергії.
5. Опишіть процес перетворення механічної енергії маятника (рис. 227).
6. Наведіть приклади використання потенціальної і кінетичної енергії.
7. Що означає термін «повна механічна енергія»?
8. Сформулюйте закон збереження повної механічної енергії.
9. Частковим випадком якого загального закону є закон збереження повної механічної енергії? Наведіть приклади прояву загального закону.

**Розв'яжіть задачі та оцініть результати**

**Вправа 43.**

1. Вкажіть, чим зумовлена енергія тіла (координатою, швидкістю або координатою і швидкістю) у випадках: а) шайба ковзає по льоду без тертя; б) пружина зазнає деформації; в) камінь вільно падає; г) люстра висить під стелею; д) маятник здійснює коливання.
2. Потяг під час розгону виконав роботу в 5 000 000 Дж. При цьому третину енергії витрачено на подолання сил тертя, решту — на збільшення швидкості потяга. На скільки збільшилася кінетична енергія потяга?
3. Механічна енергія одного з двох взаємодіючих тіл, які утворюють замкнену механічну систему, збільшилася вдвічі. Як змінилася при цьому механічна енергія іншого тіла?
4. В яких місцях річки (у верхів'ях чи в гирлі) кожний кубічний метр води має більшу потенціальну енергію? Відповідь обґрунтуйте.
- 5.\* В якій річці (гірській чи рівнинній) кожний кубічний метр води має більшу кінетичну енергію?

## § 44. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ РУХОМОЇ ВОДИ І ВІТРУ

*Для забезпечення значної енергії потоку води треба піднімати її рівень у річці за допомогою греблі*



Рис. 225. Гребля Дніпрогесу

*Дніпровський каскад ГЕС є найважливішим гідроенергетичним комплексом в Україні, до якого належить Дніпровська ГЕС (Дніпрогес), Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька, Канівська, Київська гідроелектростанції, а також Київська гідроакмулююча електрична станція (ГАЕС)*

**Енергія рухомої води.** Людство вже протягом багатьох століть використовує енергію рухомої води у найрізноманітніших цілях. Кожен гірський потік, струмок, кожна річка є джерелом енергії, яку можна використати. Практичного застосування набувають як потенціальна енергія води, так і кінетична енергія її руху. На гідроелектростанціях (ГЕС) енергію рухомої води перетворюють в електричну. В Україні, яка порівняно багата на річки, побудовано гідроелектростанції як на малих, так і на великих річках, зокрема на Дніпрі (рис.225).

Гідроелектростанції дають порівняно дешеву енергію і її виробництво екологічно чисте.

**2. Гідравлічні двигуни. Турбіни.** Гідравлічним двигуном називають пристрій, в якому відбувається перетворення енергії падаючої води на енергію обертального руху валу, внаслідок чого на осі колеса можна виконувати механічну роботу.

Одним з найпростіших гідравлічних двигунів є водяне колесо. Воно буває *наливним*, коли вода спрямовується на верх колеса (рис. 227, а), та *підливним*, коли вода проходить під колесом (рис. 227, б, в). Водяні колеса мають порівняно невелику потужність (до 100 кВт), але досить високий ККД. Наливні колеса встановлювалися на водяних млинах для помолу зерна, на рудниках — для підйому та просіювання руди. Підливні колеса використовувалися для підйому води у вертикальному напрямі,



тобто, в основному — для поливки та зрошення.

У XIX столітті на зміну водяним колесам прийшли найдосконаліші гідравлічні двигуни — **водяні турбіни**, в яких вода віддає енергію шляхом зміни значення і напрямку своєї швидкості на лопатях рухомої частини турбіни (ротора). У **паровій турбіні** використовують не енергію рухомої води, а енергію потоку водяної пари. Україна є виробником найсучасніших турбін. На рис. 226 показано монтаж однієї із таких турбін у монтажному цеху заводу.

**3. Енергія вітру. Вітряні двигуни.** Вітряні двигуни відомі з найдавніших часів. У вітряних двигунах (вітрогенераторах) використовують енергію рухомого повітря — вітру. Маса повітря (вітер) тисне на площину крил вітрогенератора, змушуючи їх рухатися, а енергія обертального руху крил перетворюється на електричну енергію. Використовують як окремі вітряні установки



Рис. 226. Монтаж турбіни на заводі «Турбоатом» (м.Харків)



а)



б)



в)

Рис. 227. Водяне колесо: а) схематичне зображення наливного колеса; б) сучасне використання підливного колеса для поливки; в) п'ятисотрічні підливні колеса на річці Оронт (Сірія)



а)



б)

Рис. 228. Використання енергії вітру: а) вітрова установка; б) вітрова електростанція

*Більшість вітрових електростанцій у нашій країні розташовані на півдні та сході — Ново-азовська, Очаківська, Краснодарська. Найбільш потужною сьогодні є Ботієвська ВЕС у Запорізькій області*

(рис. 228, а), так і вітрові електростанції (рис. 228, б).

Сьогодні в Україні потужність вітрових електростанцій складає близько 0,2% від усього обсягу електроенергії, що виробляється на теплових, атомних, сонячних і гідроелектростанціях.

Енергія вітру — відтворюваний вид енергії, оскільки вона є результатом діяльності Сонця. Крім того, ця енергія практично невичерпна, повсюдно доступна і екологічніша за інші джерела енергії.

#### Подумайте і дайте відповідь

1. Які види енергії перетворюються на гідроелектростанціях?
2. Назвіть гідроелектростанції, які утворюють Дніпровський каскад ГЕС.
3. Що таке гідравлічний двигун?
4. Як працює вітровий двигун? Де доцільно будувати вітрові електростанції?
5. У яких областях України розташована більшість вітрових електростанцій?
6. Як на рівнинних річках забезпечується значна потенціальна і кінетична енергія потоку води?
7. Поясніть, чому енергія вітру є відтворюваною.
8. Чим пояснюється екологічність вітру як джерела енергії?

#### Підготуйте повідомлення

Від млинового колеса до турбіни сучасної ГЕС.

Як людство використовує енергію вітру.

---

## Навчальний проект

### Становлення і розвиток знань про фізичні основи машин і механізмів

#### *Мета проекту*

Ознайомитись з історією становлення і розвитку прикладної механіки, з основними етапами проектування машин і механізмів, усвідомити принципи перетворення руху за допомогою механізмів, навчитись визначати параметри механізмів за відомими умовами їх використання.

*Знання з яких навчальних предметів будуть необхідні при роботі над проектом?*

1. Фізика. 2. Математика. 3. Інформатика. 4. Трудове навчання. 5. Історія.

#### *Орієнтовні напрями роботи над проектом*

##### *Теоретична частина проекту:*

1. Перші прості механізми і машини: підйомники, млини, каменедробильні машини, ткацькі і токарні станки, парові машини.

2. Принцип дії таких простих механізмів, як клин, гвинт, ворот, поршень.

3. Принцип дії поліспада. Використання поліспада у морській справі, альпінізмі, при такелажних роботах.

4. Прості механізми в побуті, у природі, в сучасній техніці.

##### *Експериментальна частина проекту:*

1. Визначте ККД при підйомі вантажу за допомогою:

- а) поліспада;
- б) нерухомого блока;
- в) рухомого блока.

Запропонуйте свій варіант напрямів даного навчального проекту.

### ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 7

#### Початковий рівень

1. Яка фізична величина визначається за формулою  $A = Fs$ ?  
А Тиск.      Б Потужність.      В Робота.      Г Сила.
2. У яких одиницях вимірюється потужність?  
А Н.      Б Па.      В Дж.      Г Вт.
3. Який виграш можна одержати за допомогою важеля?  
А У потужності.      Б У силі.      В У шляху.      Г У роботі.

#### Середній рівень

4. У якому з перерахованих випадків виконується робота?  
А Світильник висить під стелею.      В Людина відкриває двері.  
Б Терези стоять на столі.      Г Людина сидить на стільці.
5. На важіль діє сила 5 Н. Який момент цієї сили, якщо її плече дорівнює 40 см?  
А 4 Нм.      Б 2 Нм.      В 5 Нм.      Г 20 Нм.
6. За який час двигун потужністю 500 Вт виконає роботу 3000 Дж?  
А 6 с.      Б 8 с.      В 40 с.      Г 20 с.

#### Достатній рівень

7. Яке перетворення енергії відбувається при падінні тіла?  
А Кінетична енергія перетворюється на кінетичну.  
Б Потенціальна енергія перетворюється на потенціальну.  
В Потенціальна енергія перетворюється на кінетичну.  
Г Кінетична енергія перетворюється на потенціальну.
8. Який виграш у силі забезпечує рухомий блок?  
А У 6 разів.      Б У 4 рази.      В У 8 разів.      Г У 2 рази.
9. Насос за 10 хв викачує з колодязя воду об'ємом 6 м<sup>3</sup>. Яка потужність двигуна, якщо глибина колодязя 8 м?  
А 0,8 кВт.      Б 8 кВт.      В 80 кВт.      Г 0,08 кВт.

### Високий рівень

**10.** Чи могло б тіло мати кінетичну енергію, якби в нього не було такої властивості, як інертність?

**А** Так, оскільки кінетична енергія залежить від швидкості тіла.

**Б** Так, оскільки кінетична енергія залежить від сили, що діє на тіло.

**В** Ні, оскільки у такому випадку маса тіла дорівнювала б нулю.

**Г** Ні, оскільки у такому випадку швидкість тіла дорівнювала б нулю.

**11.** Тіло вагою 15 Н переміщується по горизонтальній поверхні на відстань 5 м. Чому дорівнює робота сили тяжіння на цьому шляху?

**А** 75 Дж.

**Б** 750 Дж.

**В** 7,5 Дж.

**Г** 0.

**12.** Яку потужність розвиває підйомний кран, рівномірно піднімаючи вантаж вагою 25 кН на висоту 15 м за 2,5 хв?

**А** 25 кВт.

**Б** 2,5 кВт.

**В** 150 Вт.

**Г** 15 кВт.

### ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 7

**1.** Поясніть, чи здійснюється робота при переміщенні тіла: а) за інерцією; б) під дією сил, що взаємно врівноважуються. (*Відповідь:* а) ні; б) загальна робота дорівнює нулю).

**2.** У скільки разів треба збільшити швидкість тіла, щоб його кінетична енергія збільшилася вдвічі? (*Відповідь:* в 1, 4 рази).

**3.** Тіло масою 20 кг піднімають вертикально вгору, прикладаючи силу 400 Н у напрямі руху. Обчисліть: а) яка робота виконується на шляху 10 м? б) яку роботу при цьому виконує сила тяжіння? (*Відповідь:* а) 4 кДж; б) – 2 кДж).

**4.** Спортсмен-важкоатлет підняв штангу масою 200 кг від рівня плечей (170 см) до висоти 210 см на рівнем підлоги. На скільки змінилася при цьому потенціальна енергія штанги? (*Відповідь:* 784 Дж).

**5.** Обчисліть, на яку висоту за 1 хв може підняти 400 м<sup>3</sup> води насос, який розвиває потужність 2000 кВт? (*Відповідь:* 30 м).

**6.** Тіло масою 10 кг вільно падає з висоти 20 м із стану спокою. Чому дорівнює кінетична енергія тіла в момент удару об Землю? (*Відповідь:* 2 кДж).

## ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

### Тестові завдання до розділу 1

1. Б. 2. Г. 3. В. 4. Б. 5. В. 6. Г. 7. Б. 8. Б. 9. Б. 10. В. 11. Б. 12. В.

### Тестові завдання до розділу 2

1. А. 2. В. 3. Г. 4. Б. 5. Г. 6. А. 7. В. 8. Б. 9. Г. 10. В. 11. А. 12. Б.

### Тестові завдання до розділу 3

1. В. 2. Б. 3. Г. 4. В. 5. Г. 6. Б. 7. А. 8. Г. 9. Б. 10. Г. 11. В. 12. А.

### Тестові завдання до розділу 4

1. В. 2. А. 3. Г. 4. Б. 5. В. 6. А. 7. Г. 8. Б. 9. В. 10. Б. 11. А. 12. В.

### Тестові завдання до розділу 5

1. Б. 2. Г. 3. В. 4. В. 5. Б. 6. А. 7. Г. 8. Б. 9. В. 10. В. 11. Б. 12. А.

### Тестові завдання до розділу 6

1. Г. 2. А. 3. В. 4. Б. 5. А. 6. Г. 7. В. 8. Г. 9. Б. 10. А. 11. В. 12. Б.

### Тестові завдання до розділу 7

1. В. 2. Г. 3. Б. 4. В. 5. Б. 6. А. 7. В. 8. Г. 9. А. 10. В. 11. Г. 12. Б.

## ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ

### «РОЗВ'ЯЖІТЬ ЗАДАЧІ ТА ОЦІНІТЬ РЕЗУЛЬТАТИ»

Вправа 1.

4.  $0,72 \text{ м}^2$ ;  $7200 \text{ см}^2$ .

Вправа 5.

3. а) так; б) ні.

Вправа 6.

2.  $l = 70 \text{ м}$ ,  $\bar{s} = 50 \text{ м}$ .

Вправа 7.

2.  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 3.  $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

4.  $s = 685 \text{ км}$ ;  $v_2 = 70 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ;

$\bar{s} = 524 \text{ км}$ .

Вправа 9.

4.  $v_c = 48 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . 5.  $v_c = 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .

Вправа 11.

1.  $500 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ . 3.  $s = 50 \text{ м}$ .

4.  $R = 120 \text{ м}$

Вправа 12.

3.  $60 \text{ с}$ ;  $3600 \text{ с}$ ;  $43200 \text{ с}$ .

5.  $10 \text{ год}$ .

6.  $464 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $29,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Вправа 13.

1. б).

Вправа 14.

1.  $3 \text{ с}$ . 2.  $24,3 \text{ см}$ .

Вправа 16.

3.  $10 \text{ кг}$   $600 \text{ г}$ .

4.  $131 \text{ г}$ ;  $0,5 \text{ г}$ .

5.  $0,5 \text{ г}$ ; немає.

6.  $3,9 \text{ кг}$ . 7.  $5 \text{ карат}$ .

Вправа 17.

2.  $\approx 1,85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

3.  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0,001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

4.  $1500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . 5.  $10,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

Вправа 18.

2.  $52000 \text{ кг}$ . 3.  $\approx 87 \text{ кг}$ .

4.  $0,069 \text{ м}^3$ . 5.  $80 \text{ г}$ .

Вправа 20.

2.  $F_1 = 25,5 \text{ Н}$ ;  $F_2 = 98 \text{ Н}$ ;

$F_3 = 7,8 \text{ Н}$ ;  $F_4 = 0,0002 \text{ Н}$ ;

$F_5 = 14700 \text{ Н}$ .

Вправа 22.

2.  $490 \text{ Н}$ .

Вправа 23.  
1.  $F_m = 112,5$  кН.

2.  $k \approx 42 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

Вправа 24.  
3. 480,2 Н; 960,4 Н.  
5. 200 кг; ні.  
6. 213 Н. 7. На 294 Н.

Вправа 25.  
1. 980 Н.  
2. Канат не рухатиметься;  
0.  
3. 33 кН.

Вправа 26.  
3. 196 Н.

Вправа 27.  
2. 500 Па; 200 Па; 400 Па;  
100 кПа.

3. 1000 гПа; 100 кПа;  $10 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$ ;

200 гПа; 20 кПа;  $2 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$ ;

58 гПа; 5,8 кПа;  $0,58 \frac{\text{Н}}{\text{см}^2}$ .

Вправа 29.  
1. 1076 Н.

Вправа 31.  
4.  $\approx 5$  см.

Вправа 34.  
1. 752 мм рт. ст.; 760 мм рт. ст.;  
767 мм рт. ст.

2. 660 мм рт. ст.; 760 мм рт. ст.;  
860 мм рт. ст.

3. 1 мм рт. ст. або 1 мм вод. ст.,

$P_{\text{атм}} + 20$  мм рт. ст. або

$P_{\text{атм}} + 20$  мм вод. ст.

Вправа 35.  
5. 6,9.

Вправа 37.  
2. 15000 Дж. 3. 400 кДж.

Вправа 38  
1. 50 Вт. 2. 21 кДж.  
3. 9,8 кВт.

Вправа 39  
1. 490 Н; 235,2 Дж.  
2. 7,44 кг. 3. 410 кг.

Вправа 40  
2. 300 Н, 5 м, 1,5 кДж;  
150 Н, 10м, 1,5 кДж.

Вправа 41  
1. 89 %. 2. 59 %.

Вправа 43  
4. На 3,33 106 Дж = 3,3 МДж.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Атом 26  
Абсолютна похибка 25  
Амплітуда 100  
Ареометр 129  
Атмосферний тиск 195

Барометр 198, 200

Вимірювальний прилад 11  
Вага 160  
Важіль 227, 228

Гіпотеза 17  
Густина речовини 126  
Графік швидкості 70  
Гідравлічний пристрій 185  
Гідростатичний тиск 189  
Гравітація 145

Деформація 148  
Динамометр 155  
Експеримент 16  
Електрон 33  
Енергія 242

Закон Гука 152  
Закон Паскаля 183  
Інерція 109  
Інертність тіла 112

Криволінійний рух 81  
Коефіцієнт корисної дії 238  
Коливальний рух 92  
Кінетична енергія 245

Матерія 25  
Міра 11  
Метод 15  
Молекула 26  
Маятник 94,97  
Маса тіла 114,116  
Момент сили 234

Нанотехнології 36  
Невагомість 161,162  
Насос 202  
Нанометр 203  
Нерівномірний  
прямолінійний рух 65

Осадка 212

Період 101



---

Період обертання 85  
Пневматичний пристрій 186  
Пружність 151  
Потужність 224  
Переміщення 53  
Прямолінійний рух 55  
Потенціальна енергія 244

Робота 221  
Речовина 34  
Рівновага 233  
Рух 45,46  
Рівнодійна 164  
Рівняння руху 61

Сила 137,138  
Сила тяжіння 146  
Сполучені посудини 192  
Сила Архімеда 206, 207  
Спостереження 15  
Система відліку 47, 48  
Середня швидкість 65

Терези 120  
Тертя 167, 168  
Тиск 179  
Траєкторія 51

Фізика 7,8

Фізичне явище 9  
Фізичне тіло 10  
Фізична властивість тіла 9  
Фізична величина 10  
Фізична картина світу 18

Частота 101  
Частота обертання 85  
Час 46

Швидкість 56  
Шлях 52

Явища природи 7