



Т. М. Засєкіна, Д. О. Засєкін

ФІЗИКА

7 клас

*Підручник
для загальноосвітніх навчальних закладів*

ЮНІ ДРУЗІ!

Сьогодні ви починаєте вивчати новий предмет — фізику, назва якого походить від грецького слова «фюзис», що означає «природа».

Фізика відкриє для вас багато таємниць природи, допоможе пояснити і зрозуміти явища, з якими ви зустрічаєтесь на кожному кроці. І те, що здавалося дивним і загадковим, — стане зрозумілим і звичним. Але світ природних явищ настільки різноманітний і багатогранний, що зрозуміти і пояснити його може лише людина допитлива й освічена. Полегшить вам цю нелегку справу підручник із фізики.

Підручник містить п'ять розділів, які розділені на параграфи. Перед кожним розділом коротко говориться про головне, що буде вивчатись, виділяється суть розділу. У кінці розділу узагальнено і систематизовано навчальний матеріал у рубриці **«Підсумки розділу»**.

Параграфи починаються з коротких рубрик **«Ви дізнаєтесь»** і **«Пригадайте»**. Вони допоможуть вам ознайомитися з основними питаннями, які будуть розглядатись у параграфі, а також підкажуть, що треба пригадати з раніше вивченого, щоб краще засвоїти новий матеріал. В основному тексті параграфа для зручності формули, визначення, поняття виділені шрифтом і кольором, наприкінці параграфа є рубрика **«Підсумки»**, яка допоможе запам'ятати головне із нового матеріалу.

Вивчаючи фізику, ви опануватимете наукові методи пізнання природи, тому в підручнику багато описів фізичних дослідів і прикладів, які дають змогу глибше зрозуміти суть фізичних явищ. З цією ж метою в рубриці **«Мої фізичні дослідження»** вам пропонуються завдання для домашніх дослідів і спостережень, які ви можете виконати самостійно. Описи обладнання й короткі інструкції допоможуть вам у підготовці та виконанні фронтальних лабораторних робіт.

Перевірити рівень засвоєння й міцність набутих знань ви зможете за допомогою рубрики **«Завдання для контролю знань»**, яка містить контрольні запитання, завдання для пояснення суті фізичних явищ і процесів, якісні й розрахункові задачі різної складності. У вправах задачі підвищеного рівня виділено зірочкою (*). Оскільки вміння розв'язувати фізичні задачі є однією з важливих передумов опанування фізики, вам пропонуються рубрики **«Правила розв'язування й оформлення фізичних задач»** і **«Приклади розв'язування задач»**.

Після вивчення всього розділу можна перевірити, як ви засвоїли поданий у ньому матеріал, виконуючи завдання в рубриці **«Перевір свої знання»**. У рубриках **«Фізика навколо нас»** і **«Цікаві факти»** міститься додатковий матеріал, який ілюструє текст параграфа прикладами з історії фізики, техніки та життя.

Навчитися здобувати знання з фізики й успішно застосовувати їх на практиці вам допоможуть навчальні проекти, виконати які ви зможете за консультативної допомоги вчителя, виявивши дослідницьку, творчу діяльність, спрямовану на отримання самостійних результатів. У підручнику наведено рубрику **«Як виконувати навчальний проект із фізики»**, яка допоможе вам освоїти цей вид роботи.

У кінці підручника подано відповіді до вправ і предметний покажчик.

Бажаємо успіхів у навчанні, нехай цей підручник буде вам добрим помічником!

Автори

ЗМІСТ ПІДРУЧНИКА

Юні друзі!	3
Вступ.	6
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА	
§ 1. Фізика — наука про природу	12
§ 2. Фізичні величини та їх вимірювання	17
<i>Лабораторна робота № 1.</i>	
Ознайомлення з вимірювальними приладами.	
Визначення ціни поділки шкали приладу	24
§ 3. Простір і час	25
<i>Лабораторна робота № 2.</i>	
Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин і сипких матеріалів.	31
§ 4. Початкові відомості про будову речовини	32
<i>Лабораторна робота № 3.</i>	
Вимірювання розмірів малих тіл.	36
§ 5. Історичний характер фізичного знання	37
<i>ПІДСУМКИ до розділу «Фізика як природнича наука»</i>	43
РОЗДІЛ 2. МЕХАНІЧНИЙ РУХ	
§ 6. Механічний рух	46
§ 7. Поступальний рух.	51
§ 8. Шлях. Переміщення.	57
§ 9. Рівномірний прямолінійний рух.	
Швидкість рівномірного прямолінійного руху.	62
<i>Учимося розв'язувати фізичні задачі</i>	
§ 10. Рівняння руху. Графіки рівномірного прямолінійного руху.	69
§ 11. Нерівномірний прямолінійний рух.	
Середня швидкість нерівномірного руху.	75
§ 12. Рівномірний рух по колу	79
<i>Лабораторна робота № 4.</i>	
Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу	82
§ 13. Коливальний рух. Маятники	83
<i>Лабораторна робота № 5.</i>	
Дослідження коливань нитяного маятника	87
<i>Учимося виконувати навчальний проект із фізики</i>	88
<i>Навчальний проект «Визначення середньої швидкості нерівномірного руху»</i>	90
<i>ПІДСУМКИ до розділу «Механічний рух»</i>	90
<i>Перевір свої знання</i>	92
РОЗДІЛ 3. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА	
§ 14. Явище інерції та інертність тіл	98
<i>Лабораторна робота № 6.</i>	
Вимірювання маси методом зважування	104

§ 15. Густина речовини	106
<i>Лабораторна робота № 7.</i>	
Визначення густини речовини (твердих тіл, рідин)	112
§ 16. Сила	113
§ 17. Сила тяжіння	116
§ 18. Рівнодійна сил.	120
§ 19. Сили пружності.	124
<i>Лабораторна робота № 8.</i>	
Дослідження пружних властивостей тіл.	128
§ 20. Вага тіла. Невагомість	129
§ 21. Сили тертя.	134
<i>Лабораторна робота № 9.</i>	
Визначення коефіцієнта тертя ковзання.	141
<i>ПІДСУМКИ до розділу «Взаємодія тіл. Сила»</i>	142
<i>Перевір свої знання</i>	143
РОЗДІЛ 4. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН ТА ГАЗІВ	
§ 22. Тиск твердих тіл на поверхню	148
§ 23. Тиск рідин і газів. Закон Паскаля	154
§ 24. Гідростатичний тиск.	160
§ 25. Атмосферний тиск	167
§ 26. Виштовхувальна сила в рідинах і газах.	
Закон Архімеда.	174
<i>Лабораторна робота № 10.</i>	
З'ясування умов плавання тіла	179
<i>Навчальний проект «Розвиток судно- та повітроплавання»</i>	180
<i>ПІДСУМКИ до розділу «Сила тиску. Тиск рідин та газів»</i>	181
<i>Перевір свої знання</i>	182
РОЗДІЛ 5. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ	
§ 27. Механічна робота. Потужність	186
§ 28. Механічна енергія та її види	190
§ 29. Закон збереження й перетворення енергії.	195
§ 30. Прості механізми. Момент сили	200
<i>Лабораторна робота № 11.</i>	
Визначення умов рівноваги важеля	206
§ 31. Коефіцієнт корисної дії механізмів.	
«Золоте правило» механіки	207
<i>Лабораторна робота № 12.</i>	
Визначення ККД похилої площини.	213
<i>Навчальний проект «Становлення знань про фізичні основи машин і механізмів»</i>	214
<i>ПІДСУМКИ до розділу «Механічна робота та енергія»</i>	215
<i>Перевір свої знання</i>	216
Відповіді до вправ	219
Предметний покажчик	

ФІЗИКА ЯК НАВЧАЛЬНИЙ ПРЕДМЕТ У ШКОЛІ. Шкільна фізика — це не тільки фізичні знання та складні формули. Уроки фізики — це, насамперед, можливість проявити дослідницькі здібності, творчий пошук відповідей на запитання, що виникають під час пояснення фізичних явищ, у ході розв’язування фізичних задач.

Знання з фізики стануть вам у пригоді як у шкільні роки, так і в подальшому житті. Вивчаючи в школі інші природничі науки (географію, біологію, хімію, астрономію), ви помітите, що вони разом дають змогу отримати цілісні знання про певне природне явище. І незалежно від того, оберете ви професію, тісно пов’язану з фізикою, чи ваша професійна діяльність не потребуватиме застосування знань із фізики, пам’ятайте: фізика — основа техніки і технологій, без яких неможливо уявити сучасний світ.

Під час навчання фізики в школі вчитель супроводжує розповіді цікавими дослідками та демонстраціями. Ви ознайомитесь із фізичними приладами і прийомами роботи з ними, зможете не лише стежити за діями вчителя, а й самостійно виконувати дослідки.

Навчання фізики є цікавим завдяки різним видам навчальної діяльності. Це і робота з підручником та довідковою навчальною літературою, розв’язування фізичних задач, виконання різноманітних дослідів і лабораторних робіт як у кабінеті фізики, так і під час домашніх занять. Самостійно знайти шляхи розв’язання проблеми ви зможете під час виконання навчальних проектів, на заняттях у фізичному гуртку, або виконуючи конкурсну науково-дослідну роботу, яку вам запропонують у школі. І не виключено, що саме ваше оригінальне рішення, а може й винахід стануть новим поштовхом у розвитку техніки і технологій.

Окрім фізичних демонстрацій, сьогодні ви можете досліджувати фізичні процеси за допомогою комп’ютерних технологій, це — й анімаційні моделі об’єктів та явищ, і віртуальні лабораторні роботи, і відеофільми. Ви зможете і самостійно розробити такий наочний посібник: записати відеофрагмент свого дослідку, розробити мультимедійну презентацію. Для цього вам у пригоді стануть знання з математики, інформатики і технологій, уміння шукати й використовувати матеріали в мережі Інтернет, а завдяки сучасним комунікаційним засобам про ваші досягнення можуть відразу дізнатись у всьому світі. Тому культура спілкування, знання мов, як рідної, так й іноземної, виявлення своєї громадянської позиції мають стати у пригоді.

У всьому світі особлива увага завжди приділяється якості природничо-математичної освіти, яка визначає майбутнє науки, технологій, суспільного розвитку, національної безпеки. В умовах становлення і розвитку високотехнологічного інформаційного суспільства в Україні, розбудови економіки виникає потреба у професіоналах, і майбутнє України — у ваших руках. Але розпочати цей нелегкий, але захоплюючий шлях треба, зокрема, з уроків фізики в школі, із перших параграфів підручника, із перших задач і дослідів.

Працюючи над текстом кожного з параграфів підручника, ви навчитесь складати плани прочитаного, виділяти в тексті основні думки, встановлювати логічні зв’язки між ними. Це дає змогу не заучувати текст, а глибоко усвідомити його зміст і навчитися чітко розповідати про фізичні *досліди, явища, величини, закони, моделі, теорії*. У пригоді вам стануть наведені на першому форзаці *узагальнені плани*, за якими ви маєте розкривати суть того чи іншого поняття, закону, факту.

ФІЗИЧНИЙ КАБІНЕТ ТА ЙОГО ОБЛАДНАННЯ. Навчання фізики в школі відбувається в особливому фізичному кабінеті, до облаштування якого долучались учителі, учні, батьки (мал. 1). Можливо, хтось із вас на цьому фото



Мал. 1. Кабінет фізики



Мал. 2: а — обладнання демонстраційного експерименту на класній дошці;
б — шафа для зберігання демонстраційного і лабораторного обладнання

впізнає свій кабінет!? Фізичний кабінет — це спеціально обладнане приміщення, де проводяться уроки фізики, виконуються досліди, навчальний фізичний експеримент, організуються інші навчальні заняття з фізики. Він має кілька навчальних зон: робочі місця учнів, робоче місце вчителя, лабораторію та інші приміщення.

У кожному кабінеті фізики є обладнання для проведення демонстраційних дослідів та для виконання фронтальних лабораторних робіт, а також засоби інформаційного супроводу: таблиці, плакати, наочність, виставкові стенди тощо (мал. 2).

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ У ФІЗИЧНОМУ КАБІНЕТІ. Щоб безпечно працювати з фізичним обладнанням, треба дотримуватися відповідних інструкцій і правил.

Пам'ятайте! Перед початком роботи чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення дослідів. Звільніть робоче місце від усіх непотрібних для роботи предметів і матеріалів. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню. Перевірте наявність і надійність приладів та інших предметів, потрібних для виконання завдання. Починайте виконувати завдання лише після дозволу вчителя.

Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтеся до тих частин машин, які обертаються, і не нахилийтеся над ними.

Під час виконання робіт з електричними приладами вмикайте джерело струму в електричне коло в останню чергу і лише після перевірки та дозволу вчителя.

Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело електроживлення і повідомте про це вчителя.

Після закінчення лабораторної роботи та з дозволу вчителя приберіть своє робоче місце.

Пам'ятайте про основні небезпечні та шкідливі чинники під час роботи в кабінеті фізики:

- опіки під час роботи з електронагрівальними приладами та під час роботи зі спиртівкою й сухим спиртом;
- механічні травми під час проведення лабораторних робіт;
- ураження електричним струмом.

У разі травмування (поранення, опіки тощо) або при нездужанні повідомте про це вчителя.

РОЗДІЛ

1

ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА

- ▶ З раннього дитинства і протягом усього життя ми намагаємося знайти відповіді на тисячі запитань, що пов'язані з навколишнім світом. Чому ми бачимо веселку після дощу? Чому світить Сонце? Чому йде дощ?
- ▶ Оглядаючись навколо себе, окрім природних явищ і предметів, ми бачимо силу силенну пристроїв, механізмів. Нові технології заповнили наш світ!
- ▶ Основу більшості сучасних технологій складають саме фізичні процеси. Головна ціль фізики — виявити і пояснити закони природи, уміти їх використати в практичній діяльності людини.
- ▶ Фізика відкриє для вас багато таємниць природи, допоможе пояснити і зрозуміти явища, з якими ви зустрічаєтесь на кожному кроці. І те, що здавалось дивним і загадковим, — стане зрозумілим і звичним. Але світ природних явищ настільки різноманітний і багатогранний, що зрозуміти і пояснити його може лише людина допитлива й освічена.
- ▶ Вивчаючи розділ «Фізика як природнича наука» ви дізнаєтесь: що і як вивчає фізика; чому необхідно знати і розуміти фізичні закони; який зв'язок фізики з іншими науками; як застосовуються фізичні знання в побуті, техніці, виробництві. Ви ознайомтесь із початковими відомостями про будову речовини, творцями фізичної науки. Отримаєте початкові навички роботи з фізичними приладами.

- § 1. Фізика — наука про природу
- § 2. Фізичні величини та їх вимірювання
- § 3. Простір і час
- § 4. Початкові відомості про будову речовини
- § 5. Історичний характер фізичного знання

§ 1. ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ

► **Ви дізнаєтесь**
Що і як вивчає фізика



► **Пригадайте**
Що вам відомо про природні явища

ЩО ВИВЧАЄ ФІЗИКА. Будь-які зміни, що відбуваються у світі, називають *явищами*. Прикладами фізичних явищ є рух небесних тіл, політ птаха, блискавка, веселка, вітер, танення льоду, випромінювання сонячного світла. Рух літаків, човнів та автомобілів, свічення монітора комп'ютера, дзвінок мобільного телефону теж є фізичними явищами. Фізичні явища настільки ж різноманітні, наскільки різноманітний світ природи. Небесні тіла у Всесвіті, Сонце, зорі, планети, наша планета Земля з її надрами, флорою (рослинним світом), фауною (тваринним світом) і, нарешті, ми самі — все це є частинами природи, а отже, і частинами фізичних явищ.

Деякі фізичні явища мають спільні властивості, залежно від яких виділяють механічні, теплові, електромагнітні, світлові, звукові та інші явища і процеси (мал. 3).

Падіння предметів на землю, рух літака, обертання Місяця навколо Землі, політ птаха, коливання гойдалки — усе це приклади *механічних* явищ.

Танення льоду, нагрівання води, утворення туману, плавлення металу, кипіння — приклади *теплових* явищ.

Веселка, сонячний зайчик, сонячне й місячне затемнення, кольорове забарвлення тіл, заломлення та відбивання світла — приклади *світлових (оптичних)* явищ.

Блискавка, електричний струм, притягування та відштовхування магнітів, радіолокація, телебачення — *електромагнітні явища*.

Вивчати природу люди почали ще в стародавні часи. У Стародавній Греції виникла наука про природу речей, яку називали *натурфілософією*. Проте ще тоді ця єдина наука стала ділитися на окремі галузі знань.

Адже вивчати природу за окремими галузями легше і результативніше. Так виникли фізика, біологія, географія, хімія, астрономія та інші природничі науки, які також вивчають природні явища, але вивчають їх із різних точок зору, застосовуючи різні методи досліджень. Крім природничих наук, є ще гуманітарні науки, що вивчають *духовний світ* людини (мова, література, історія, психологія, мистецтвознавство тощо).

Кожна наука має свої *об'єкти дослідження* (явища), виробляє свої *методи та інструменти дослідження*, свою *термінологію* (мову) для опису їх результатів. Об'єктом же дослідження фізики як однієї з наук про природу (*фюзіс* давньогрецькою означає саме «природа»), є *матеріальний світ (матерія)*.

Вивчення навколишнього світу показало, що матерія постійно рухається. Будь-яка зміна, що відбувається в природі, є рухом матерії. Нагромаджений століттями досвід упевнив учених, що матерія може видозмінюватись, але ніколи не виникає і не зникає. Рух матерії може змінювати свою форму, але сам рух матерії не створюється і не знищується. Інакше кажучи, навколишній світ є матерія, яка вічно рухається і розвивається.

Речовина — та частина матерії, з якої складаються об'єкти навколишнього світу. Найдрібнішими частинками речовини є молекули, атоми, електрони.

Головною особливістю фізичних явищ є те, що під час їх перебігу склад речовини залишається незмінним.

Поле — особливий вид матерії. Людина не спроможна бачити фізичні поля, але прояв дії поля відчуває.

Фізика — фундаментальна* наука про загальні закономірності перебігу природних явищ, властивості та будову матерії, закони її руху.

* Фундаментальна — означає основоположна.



Мал. 3. Фізичні явища



Мал. 4. Приклади фізичних тіл

ЯК ФІЗИКИ ПІЗНАЮТЬ ПРИРОДУ. З дитинства ви знаєте, що бурулька тоне в теплій кімнаті, пластилін легко змінює форму, а магніт притягує дрібні залізні предмети. Яким чином з'явилися ці знання? Як фізики досліджують навколишній світ? Щоб описати процеси, які відбуваються в матеріальному світі, фізики застосовують спеціальні терміни, спеціальні методи дослідження. Так, **фізичним тілом** називають будь-який предмет навколишнього світу, який розглядають під час вивчення фізичних явищ (мал. 4). Це — рослини, тварини, планети, рукотворні предмети тощо.

Фізичні тіла — предмети навколишнього світу, які розглядають під час вивчення фізичних явищ.

Фізичні тіла надзвичайно різноманітні за своїми властивостями: одні прозорі — крізь них може проходити світло, інші можуть відбивати світло (наприклад, дзеркало); одні проводять електричний струм (наприклад, метали), а інші не проводять (наприклад, гума).

Звідки люди дізналися про ці та інші властивості тіл? У результаті **фізичного дослідження** — цілеспрямованого вивчення явища засобами фізики.

Першим етапом фізичного дослідження є **спостереження**.

Спостереження — це цілеспрямоване сприймання природи з метою отримання первинних даних про фізичне явище.

Але самого тільки спостереження інколи не достатньо, щоб зробити правильний висновок.

► **Приклад.** Упродовж багатьох віків вважалося, що швидкість падіння тіл на Землю залежить від їх маси: чим важче тіло, тим швидше воно впаде на землю. Видатний іта-

лійський учений Галілео Галілей (1564—1642) висунув *гіпотезу* (припущення) про те, що відмінність у падінні тіл спричинена не різними масами тіл, а тим, як на ці тіла діє опір повітря. Своє припущення Галілей вирішив перевірити дослідом, кинувши з великої висоти мушкетну кулю і гарматне ядро (маси яких відрізнялися майже в 400 разів, проте опір повітря для них був порівняно однаковим). Для проведення такого досліду Галілей використав знамениту нахилену Пізанську вежу, з якої було зручно кидати предмети вниз (мал. 5).

Дослід підтвердив гіпотезу Галілея: кинуті одночасно куля та ядро впали теж практично одночасно. Цей дослід став знаменитим, оскільки його проведення вважають «днем народження» фізики як експериментальної науки. А похила вежа, що стоїть в італійському місті Піза і досі, стала символом досліду як головного мірила істини: припущення стає істиною тільки тоді, коли його підтверджує дослід.

Отже, наступним етапом фізичного пізнання після спостереження і гіпотези є **дослід (експеримент)**.

Дослід (експеримент) — це дослідження фізичного явища в умовах, що перебувають під контролем ученого, з метою глибшого вивчення цього явища.

Але за допомогою експерименту не завжди можна дослідити явище, яке спостерігається у природі. Це може бути пов'язано з тим, що досліджуються невидимі об'єкти мікросвіту, або величезні космічні об'єкти, або явища, небезпечні для людини. Під час досліджень складних явищ інколи також виділяють головне з них, а побічні явища не розглядають. У цьому разі фізики вдаються до **моделі** явища, за допомогою якої спрощено відтворюють його протікання.

Фізичне моделювання — відтворення і дослідження на моделі реальних процесів.

Здобуті в ході спостереження, експерименту чи моделювання результати оформлюються у вигляді **законів, формул, рівнянь, теорій**.



Мал. 5. Пізанська вежа

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізика — фундаментальна наука про загальні закономірності перебігу природних явищ, властивості та будову матерії, закони її руху.

Етапи фізичного дослідження: спостереження → гіпотеза → експеримент або моделювання → закони, формули, рівняння, теорії.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

▶ Дайте відповідь на запитання

1. Що вивчає фізика?
2. Що таке матерія? Що таке фізичне тіло?
3. У чому головна особливість фізичних явищ?

?!▶ Поясніть

1. Чому фізику називають основою природознавства і техніки?
2. Чим експеримент відрізняється від спостереження? Наведіть приклади.
3. Які професії, на вашу думку, потребують знань із фізики?

Вправа 1

1. Із вказаного переліку виберіть фізичні тіла, речовини та фізичні явища: вода, туман, Сонце, сонячний зайчик, вітер, горіння, лід, цунамі, землетрус, дощ, веселка, алюміній, блискавка, грім, пісок, кипіння, падіння, яблуко, олівець, пластилін, клей, фарба, мильна бульбашка, пір'їна, метал. Заповніть таблицю в зошиті.

Фізичне тіло	Речовина	Фізичне явище

2. Виберіть приклади механічних, теплових, електромагнітних, оптичних явищ: пластмасовий гребінець після розчісування волосся притягує дрібні шматочки паперу, стрілка компаса вказує на північ, лунає пісня, летить птах, гримить грім, палає вогнище, обертається Земля навколо Сонця, запах парфумів поширюється в повітрі, зелене листя під дією світла утворює кисень, бульбашка повітря спливає із дна озера, автомобіль різко гальмує, туристи (у яких намокли сірники) шукають способи розпалити багаття, вмикається лампа розжарювання. Які з наведених прикладів одночасно належать до декількох типів явищ?
3. Наведіть приклади фізичних тіл, які людина не може бачити.

§ 2. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ ТА ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

▶ Ви дізнаєтесь

Що таке фізичні величини і як їх вимірюють
Що таке вимірювальні прилади

▶ Пригадайте

Що і як вивчає фізика
Що таке фізичне тіло і фізичне явище

ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. Світ природних явищ дуже різноманітний, тому, щоб описати їх, потрібно виокремити спільні ознаки явища, або встановити його характерні риси, дати цим ознакам і рисам свої назви, навчитися їх вимірювати, порівнювати між собою, встановлювати між ними зв'язки. У фізиці характерні ознаки тіл, процесів, явищ називають *фізичними величинами*.

Фізична величина — кількісна характеристика певної властивості тіла чи явища.

Кожна фізична величина має назву, що найчастіше вказує на властивість, яку вона характеризує. Також фізична величина має визначення і позначається літерою латинського або грецького алфавіту. Ця літера входить у формули, які пов'язують дану фізичну величину з іншими величинами. Для кількісної характеристики вводять одиниці фізичної величини. Для більшості фізичних величин є прилади, якими їх можна виміряти.

Для прикладу опишемо відому вам фізичну величину *довжину*.

Довжина — це фізична величина, яка характеризує протяжність тіл, відстаней. Найчастіше її позначають малою латинською літерою *l*. Одиницею довжини є метр. Вимірюють довжину лінійкою.

ВИМІРЮВАННЯ. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ. Фізичну величину завжди можна виміряти.

Виміряти яку-небудь величину — означає порівняти її з однорідною величиною, яку взято за одиницю цієї величини.

Так, наприклад, виміряти довжину стола — значить порівняти її з іншою довжиною, яку взято за одиницю довжини, наприклад з метром. Унаслідок вимірювання величини встановлюють її числове значення, виражене в певних одиницях.



Мал. 6:
а — лінійка;
б — вимірювальний
циліндр, мензурка;
в — секундоміри: електронний
та механічний; г — термометри

Для кожної фізичної величини обрано свою одиницю. Для вимірювання площі, наприклад, взято одиницю площі (1 м^2), для вимірювання часу — одиницю часу (1 с), для вимірювання об'єму — одиницю об'єму (1 м^3).

У фізиці використовують дуже багато різноманітних засобів вимірювання: *мір* і *вимірювальних приладів*. Одні вам знайомі з курсу математики та природознавства (мал. 6), з іншими ви ознайомитесь у подальшому.

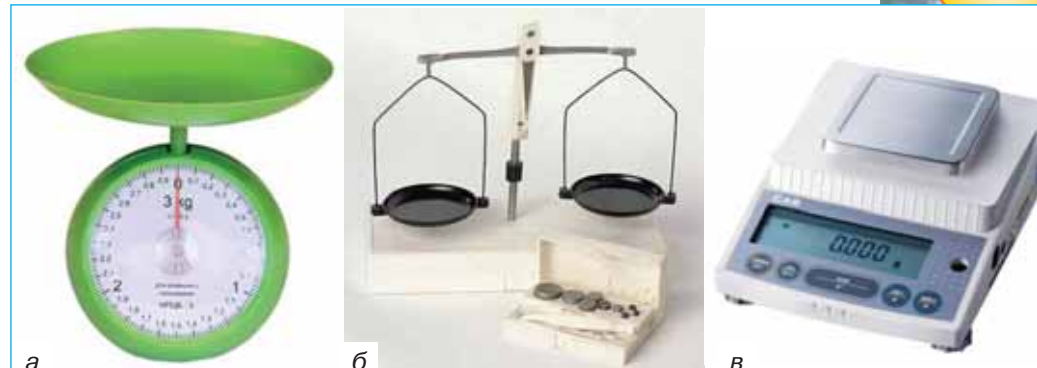
Кожен засіб має частини, що сприймають фізичну величину, яка вимірюється, і частини, що перетворюють це сприйняття в покази (цифрові значення, встановлення показчика біля деякої позначки шкали приладу тощо).

Засіб вимірювання, який може тільки відтворювати одне або кілька значень величини, називають *мірою*. Наприклад, лінійка відтворює кілька розмірів довжини — це міра довжини; мензурка відтворює кілька розмірів об'єму рідини чи сипучої речовини — це міра об'єму.

Здебільшого у фізиці вимірюють такі властивості, які зумовлюють певну дію, що призводить до переміщення показчика приладу. Наприклад, підвищення температури повітря в кімнаті приводить до розширення рідини (ртуті або спирту) в капілярі термометра і підняття стовпчика рідини в ньому. Такі засоби вимірювання називають *вимірювальними приладами*.

Одну й ту саму величину можна визначити різними способами і приладами. Наприклад, масу тіла можна виміряти на пружинних вагах, на важільних терезах, порівнюючи її з масою важків, а також на електронних вагах (мал. 7).

Значення фізичної величини можна знайти безпосередньо за допомогою вимірювального приладу (такі вимірювання називають *прямими*), або розрахувати на підставі формули, що вказує на залежність між шуканою величиною та іншими величинами, які можна виміряти безпосе-



Мал. 7. Прилади для вимірювання маси:
а — пружинні настільні ваги; б — шкільні важільні терези; в — електронні ваги

редньо. Такі вимірювання називають *непрямими (опосередкованими)*.

Значення вимірюваної величини, як видно з малюнків 6 і 7, можна прочитати одразу в числовій формі на екрані цифрового приладу, або визначити за допомогою *шкали* і *вказівника*. **Шкала** найчастіше складається із послідовності «великих» позначок (рисок, або штрихів, точок тощо), між якими розташовані коротші «малі» позначки. Великі позначки зазвичай «відцифровані», тобто біля них проставлено числа, що відповідають значенню вимірюваної величини в певних одиницях. **Вказівником** найчастіше буває стрілка, але ним може бути, наприклад, рівень рідини в мірному посуді, стовпчик рідини в термометрі, світловий «зайчик», а інколи — краї предмета, коли до нього прикладають лінійку, вимірюючи розміри.

Засоби вимірювання мають свої характеристики. Найголовніші з них — *межі вимірювання* і *ціна поділки шкали*. **Межі вимірювання** визначаються найменшим і найбільшим значеннями вимірюваної даним приладом величини. **Поділка шкали** — це проміжок між сусідніми позначками (мал. 8).

Щоб визначити ціну поділки шкали, потрібно різницю між значеннями, що відповідають сусіднім відцифрованим позначкам, поділити на кількість поділок між цими позначками.

► **Приклад.** На шкільній лінійці (мал. 9) виберемо позначки 4 см і 5 см. Відстань між позначками — 10 поділок. Відповідно ціна кожної поділки дорівнює:

$$\frac{5 \text{ см} - 4 \text{ см}}{10} = 0,1 \text{ см} = 1 \text{ мм} .$$



Мал. 8. Шкала термометра



Мал. 9. Шкала шкільної лінійки

Ціна поділки засобів вимірювання може бути різною. Так, лінійка може бути проградуєвана в міліметрах або сантиметрах (мал. 10).

ПОХИБКИ Й ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ.

Розгляньте уважно малюнок 10. Вимірювання якою лінійкою дають більш точні результати? Значення ширини марки, отримане першою лінійкою — 2,1 см (мал. 10, а), значення ширини тієї ж марки, виміряне другою лінійкою — 2 см (мал. 10, б).

Отже, лінійка зі шкалою, що має меншу ціну поділки, дає змогу отримати результат, більш наближений до реального.

Недосконалість засобів вимірювання і методів вимірювання, а також людських органів чуття, вплив середовища вносять певну неточність (*похибку*) у процес вимірювання. Навіть у тому разі, коли вам здається, що довжина предмета, виміряна лінійкою, точно співпадає з позначкою на шкалі, похибка вимірювання все ж існує.

Надалі ви навчитеся визначати різні види похибок і науково оформлювати результати вимірювань. Поки що ви

будете під час вимірювань враховувати лише одну похибку вимірювання, її позначають великою грецькою літерою Δ (дельта). Це найбільша похибка вимірювання, яка дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу.

Щоб правильно зробити відлік показів приладу, треба дотримуватися таких правил.

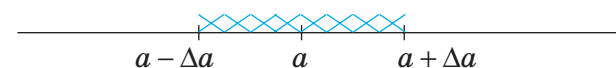
- На шкалу приладу треба дивитись у напрямі, перпендикулярному до неї, інакше покази можуть бути спотвореними.
- Важливо, щоб під час вимірювання нульова позначка шкали збігалась із початком відліку.
- Засоби вимірювання треба добирати таким чином, щоб під час вимірювань їх покази були в середній частині шкали.
- Під час зняття показів приладу треба обов'язково враховувати ціну поділки його шкали. Результат вимірювання не може бути точнішим за значення ціни поділки.
- Якщо стрілка приладу розміщена між поділками, то результат треба округлити у бік ближчої поділки, а якщо посередині — то до більшого значення.
- Значення вимірюваної величини A з урахуванням похибки вимірювання записують так: $A = a \pm \Delta a$, де A вимірювана величина; a — результат вимірювання; Δa — похибка вимірювання. Це означає, що дійсне значення вимірюваної величини лежить десь поміж значеннями

$$a - \Delta a \text{ та } a + \Delta a \text{ (мал. 11).}$$

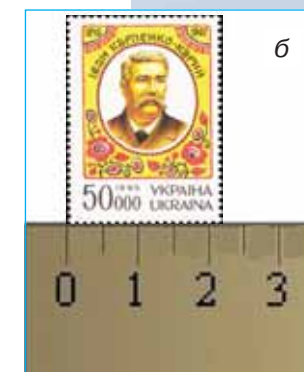
Інколи, щоб отримати більш точний результат, виконують вимірювання декілька разів. У результаті кожного вимірювання отримують значення, які можуть дещо відрізнятися одне від одного. Потім результати всіх вимірювань сумують, а отриману суму ділять на кількість проведених вимірювань. Отримують *середнє значення* вимірюваної величини.

МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН. Для зручності всі країни світу прагнуть користуватись однаковими одиницями фізичних величин.

Тому в 1960 р. було прийнято Міжнародну систему оди-



Мал. 11



Мал. 10. Лінійки з різною ціною поділки шкали: а — 1 мм; б — 0,5 см

ниць, скорочено — СІ (система інтернаціональна). До неї входить сім основних одиниць — еталонів, на основі яких визначаються всі інші одиниці.

До основних одиниць СІ належать:

Довжина — 1 м (метр) Сила світла — 1 кд (кандела)
 Час — 1 с (секунда) Сила струму — 1 А (ампер)
 Маса — 1 кг (кілограм) Кількість речовини — 1 моль
 Температура — 1 К (кельвін)

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізична величина — кількісна характеристика певної властивості тіла чи явища.

Виміряти яку-небудь величину — означає порівняти її з однорідною величиною, яку взято за одиницю цієї величини.

У Міжнародну систему одиниць СІ входить сім основних одиниць — еталонів, на основі яких визначаються всі інші одиниці.

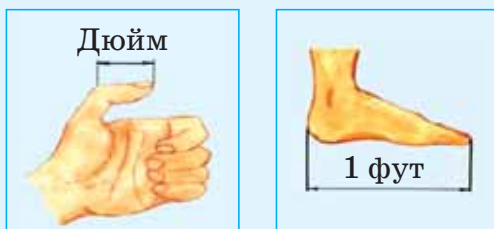
Кількісно фізичні величини визначають вимірюванням за допомогою мір та вимірювальних приладів.

ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

Одиниці довжини та маси, які застосовуються в англійських країнах:

Довжина / Length

Дюйм — Inch, 1 дюйм — 2,54 см
 Фут, фути — Foot, feet, 1 фут — 30,48 см
 Ярд — Yard, 1 ярд — 91,44 см
 Миля — Mile, 1 миля — 1,609 км,
 1 морська миля — 1,852 км
 Маса / Weight (Mass)
 Унція — Ounce, 1 унція — 28,35 г
 Фунт — Pound, 1 фунт — 0,454 кг



ОДИНИЦІ, ВЖИВАНІ У ВЕЛИКОБРИТАНІЇ (ВВ) ТА США, ВИРАЖЕНІ В ОДИНИЦЯХ СІ

Одиниця	В одиницях СІ	Одиниця	В одиницях СІ
<i>Одиниці довжини</i>		<i>Одиниці ємності</i>	
Миля	≈ 1,609 км	Барель нефтяний (США)	≈ 159 л
Морська миля	1,852 км	Галон (ВВ)	≈ 4.5 л
Кабельтов	185,2 м	Пінта (ВВ)	≈ 0,5683 л
Ярд	91,44 см	<i>Одиниці маси</i>	
Фут	30,48 см	Фунт (торговельний)	≈ 453,6 г
Дюйм	25,4 мм	Унція	≈ 28,35 г
Велика лінія	2,54 мм	Драхма (ВВ)	≈ 1,77 г
Мала лінія	≈ 2,12 мм	Гран	≈ 64,8 мг

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

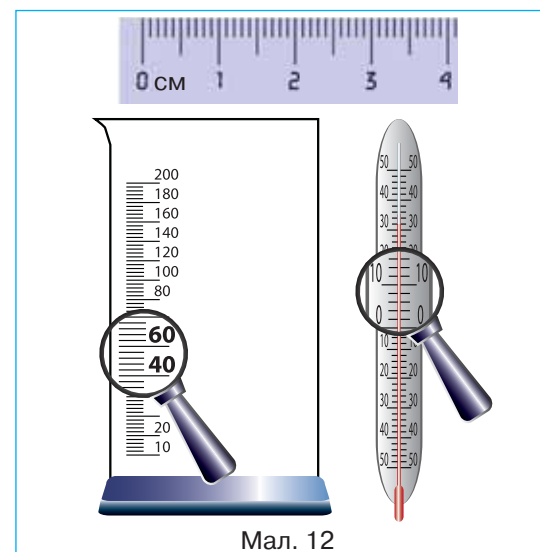
1. Назвіть відомі вам фізичні величини та одиниці цих величин. Якими приладами їх вимірюють?
2. Що таке ціна поділки шкали приладу? Як її визначають?
3. Чому виникають похибки вимірювань? Як записують результати з урахуванням похибки?
4. Чому виникла потреба введення міжнародної системи одиниць? Які величини вважають основними? Назвіть їх.

Поясніть

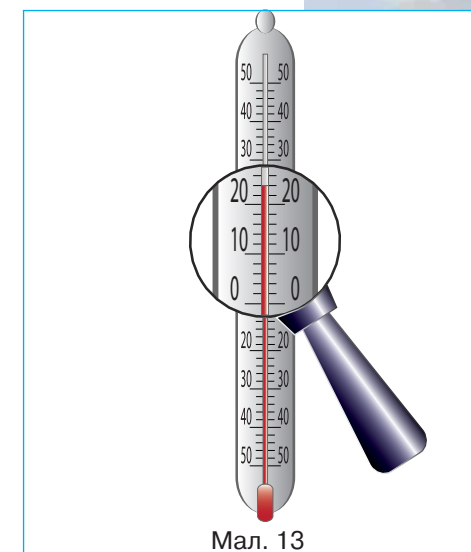
1. Навіщо, на вашу думку, існують еталони одиниць фізичних величин?
2. У чому різниця між прямими і непрямими вимірюваннями?
3. Поясніть вираз «Сім разів відмірай — один раз відріж».

Вправа 2

1. Визначте ціну поділки шкал приладів, зображених на малюнку 12.

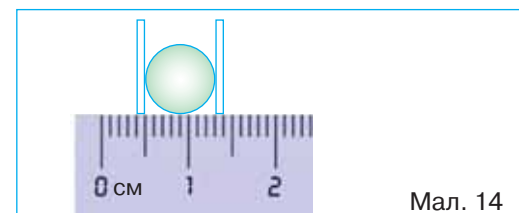


Мал. 12



Мал. 13

2. Накресліть у зошиті: а) частину шкали лінійки з ціною поділки 2 мм; б) шкалу кімнатного термометра з ціною поділки 0,5 °С.
3. Запишіть покази термометра (мал. 13), врахувавши похибку вимірювання.
- 4*. Обчисліть довжину кола, що обмежує кульку (мал. 14).



Мал. 14

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 1

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ.
ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ ПОДІЛКИ ШКАЛИ ПРИЛАДУ

- ▶ **Мета роботи:**
навчитись визначати ціну поділки шкали засобу вимірювання.
- ▶ **Обладнання:**
лінійка, термометр, мензурка.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Укажіть, яку фізичну величину вимірюють відповідним приладом. Які одиниці цієї величини?
2. Визначте ціну поділки шкали кожного приладу.
3. Заповніть таблицю.

Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця величини	Значення сусідніх оцифрованих позначок	Кількість поділок між сусідніми оцифрованими позначками	Ціна поділки шкали	Межі вимірювання
Лінійка						
Мензурка						
Термометр						

4. Зробіть висновок.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виготовлення мензурки

Для виготовлення мензурки вам знадобляться: шприц, 2 склянки, вода, лейкопластир (або смужка паперу і клей).

Наберіть в одну із склянок води. На іншу (бажано з гладкими стінками) наклейте тонку смужку паперу або білий лейкопластир.

Уважно роздивіться шприц, визначте ціну поділки його шкали. Наберіть води у шприц. Виконайте дії, як показано на малюнку 15.



a



б



в



г



д

Мал. 15

§ 3. ПРОСТІР І ЧАС

- ▶ **Ви дізнаєтесь**
Які виміри має наш світ
Що таке степінь числа 10

- ▶ **Пригадайте**
Що таке лінійні розміри тіла
Що таке площа, об'єм

МІКРО-, МАКРО- І МЕГА-СВІТИ. Уся доступна для спостереження частина матеріального світу, що нас оточує, називається Всесвітом.

Дрібними об'єктами Всесвіту є мікрочастинки — молекули, атоми та їхні складові.

Світ молекул, атомів та їхніх складових називають мікросвітом.

У мікросвіті діють закони, що помітно відрізняються від тих, із якими має справу людина в повсякденному житті. Так, одна зі складових атома, мікрочастинка нейтрон, може вільно проходити крізь товсті стіни. Закони мікросвіту вивчає *квантова фізика*. Завдяки її досягненням з'явилися сучасні комп'ютери, мобільні телефони, цифрова відеоапаратура та інша техніка.

Прогресивним напрямом досліджень мікросвіту є *нанотехнології* — технології, що займаються розробкою продуктів і компонентів, розмір яких не перевищує 100 нанометрів. (Яка це частина метра, дізнається, прочитавши параграф до кінця.) Нанотехнології, приміром, використовують під час виготовлення цифрових відеодисків (DVD).

Атоми або молекули можуть поєднуватись у великі скупчення — *макроскопічні* тіла. Прикладами макроскопічних тіл є насамперед сама людина, а також усі фізичні тіла навколо неї. Земля й інші планети також є макроскопічними тілами. У макросвіті діють закони *класичної фізики*.

Світ планет і фізичних тіл, які оточують людину, а також сама людина становлять макросвіт.

Зорі, зоряні скупчення, галактики — це об'єкти мега-світу.

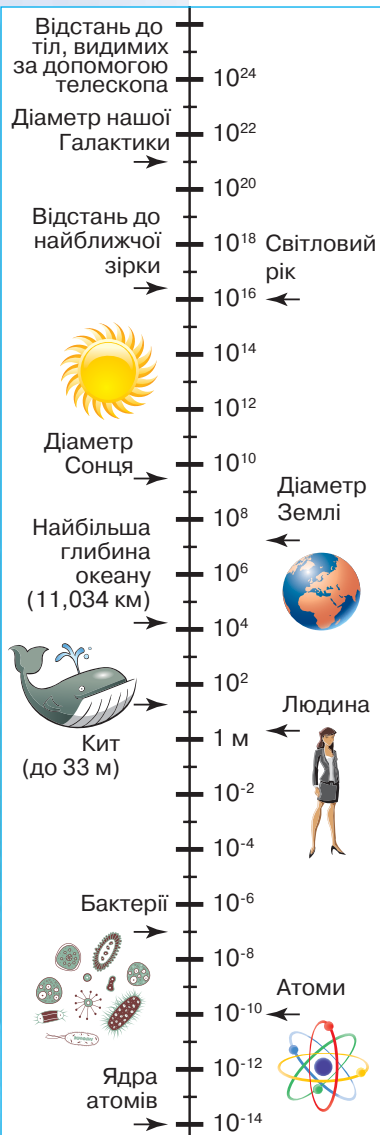
Перед тим як вимірювати і порівнювати розміри об'єктів у Всесвіті, ознайомимось із правилами запису великих і малих чисел. Для цього, щоб зробити запис таких чисел, як 100; 1000; 10 000; 0,01; 0,001, їх записують у вигляді степеня числа 10.

Наприклад, $100 = 10^2$, $1\ 000 = 10^3$, $1\ 000\ 000 = 10^6$, $0,01 = 10^{-2}$, $0,001 = 10^{-3}$. Певні степені числа 10 мають спеціальні назви:

Тера (Т) $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$; Дека (да) $10 = 10^1$;
 Гіга (Г) $1\,000\,000\,000 = 10^9$; Санти (с) $0,01 = 10^{-2}$;
 Мега (М) $1\,000\,000 = 10^6$; Мілі (мл) $0,001 = 10^{-3}$;
 Кіло (к) $1\,000 = 10^3$; Мікро (мк) $0,000\,001 = 10^{-6}$;
 Гекто (г) $100 = 10^2$; Нано (н) $0,000\,000\,001 = 10^{-9}$.

ЦІКАВІ ФАКТИ

Назва знайомого вам зі світу Інтернету пошукового сайта Google походить від назви числа 10^{100} (одиниця і сто нулів).



Мал. 16. Діапазон розмірів у Всесвіті

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТОРУ. Усі об'єкти матеріального світу існують у просторі, який характеризує їх протяжність і порядок розташування одних відносно інших. У просторі відбуваються всі зміни з об'єктами.

З дитинства ви чуєте, що наш Всесвіт безмежний. Однак питання «Що там вдалині, за границями нескінченності?» мучило дуже багатьох людей.

Можливості сучасної техніки дають змогу спостерігати Всесвіт аж до відстаней порядку 14 мільярдів світлових років (1 світловий рік — це $9,5 \cdot 10^{12}$ км — відстань, яку проходить світло за рік).

Простір — безмежний. А ось розміри об'єктів у ньому можна виміряти — навіть таких малих, як атоми, і таких великих, як галактики. Діапазон лінійних розмірів у Всесвіті можна представити у вигляді шкали, наведеної на малюнку 16.

Окрім лінійних розмірів, об'єкти матеріального світу характеризуються площею й об'ємом.

Величину поверхні називають *площею*. Позначають літерою *S*. Одиницею площі є **один квадратний метр** (1 м^2). Існують й інші одиниці площі:

- $1\text{ см}^2 = 10^{-4}\text{ м}^2$;
- $1\text{ мм}^2 = 10^{-6}\text{ м}^2$;
- $1\text{ га (гектар)} = 10^4\text{ м}^2$.

Величина, яка характеризує, яку частину простору займає об'єкт, називається *об'ємом*. Позначається літерою *V*. Одиницею об'єму є **один кубічний метр** (1 м^3). Інші одиниці об'єму:

- $1\text{ см}^3 = 10^{-6}\text{ м}^3$;
- $1\text{ л} = 1\text{ дм}^3 = 10^{-3}\text{ м}^3$;
- $1\text{ мм}^3 = 10^{-9}\text{ м}^3$;
- $1\text{ мл} = 1\text{ см}^3$.

Пригадайте відомі вам з курсу математики формули обчислення площ геометричних фігур і об'ємів тіл.

Формули обчислення			
площі фігури		об'єму тіла	
Круг $S = \pi R^2$		Куля $V = \frac{4}{3}\pi R^3$	
Квадрат $S = a^2$		Циліндр $V = Sh$	
Прямокутник $S = ab$		Паралелепіпед $V = abc$	

РУХ, ПРОСТІР І ЧАС. Рух, простір і час — ці поняття нерозривно пов'язані одне з одним. Рух матерії відбувається у просторі та часі. Щоб дати повний опис якоїсь події, нам треба знати, не лише *де*, а й *коли* ця подія відбулася.

Простір визначає протяжність і порядок розташування об'єктів один відносно одного.

Час визначає тривалість існування об'єктів і послідовність змін, які в них відбуваються.

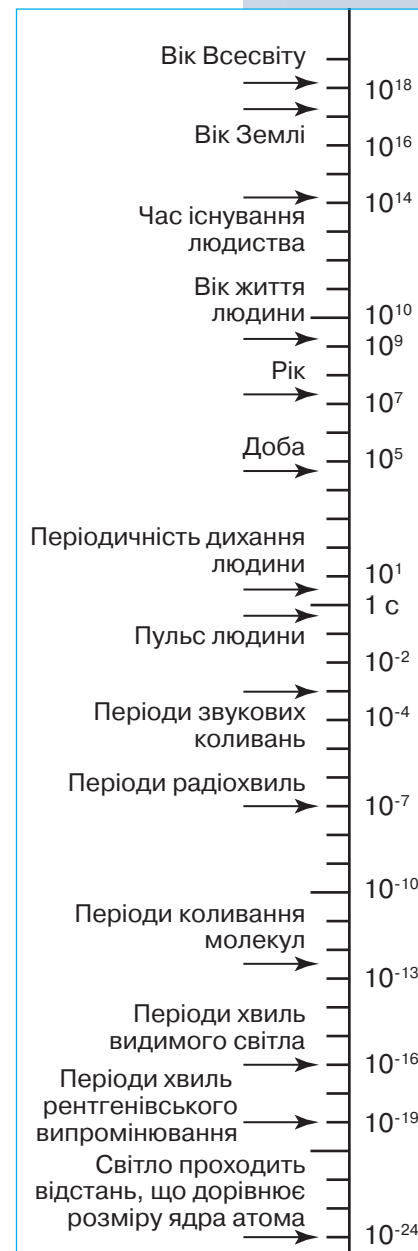
Час позначають літерою *t*. Основна одиниця часу в СІ — **одна секунда** (1 с).

Тривалість події — це інтервал часу, протягом якого ця подія відбувається.

Основною особливістю часу є те, що він *односпрямований*. Час протікає в одному напрямі — від минулого до майбутнього.

Рух — це зміни, які відбуваються в природі.

Вивчаючи послідовність подій у світі, ми досліджуємо свою історію, історію Землі та Всесвіту. Подібно до шкали простору на малюнку 17, розглянемо подібну шкалу для часу і подивимось, яким є місце людства за часом свого існування серед об'єктів Всесвіту (мал. 17).



Мал. 17. Шкала часу

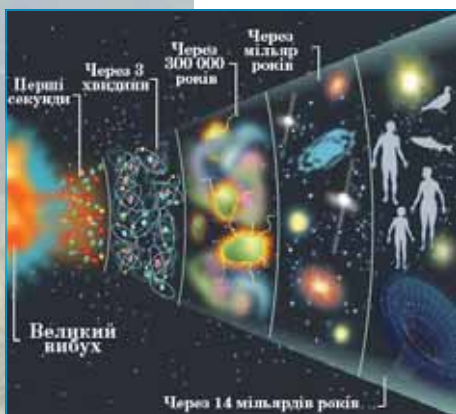
ЦІКАВІ ФАКТИ

З історії дослідження розмірів і часу існування Всесвіту



Едвін Габбл (часто також Хаббл) (1889 — 1953), американський астроном

Жорж Леметр (1894—1966), бельгійський священник, астроном і математик



Мал. 18. «Великий вибух» — зародження Всесвіту

Розширення Всесвіту, виявлене Хабблом ще в 1929 р., породило теорію зародження й еволюції Всесвіту, яку сьогодні називають «теорією Великого вибуху». Цю теорію запропонував 1931 р. бельгійський астроном Жорж Леметр: розбігання галактик свідчить, що близько 15 мільярдів років тому весь наш Всесвіт був сконцентрований в одній точці (мал. 18).

Один з найвідоміших учених світу, що увійшов до списку «100 геніїв сучасності», британський математик і астрофізик Стівен Хокінг на початку 70-х років ХХ ст. почав аналізувати явища, які супроводжували народження світу. У 1988 р. вийшла книга Хокінга «Коротка історія Часу — від Великого вибуху до чорних дірок», у якій він розповідає про появу Всесвіту, про природу простору і часу, чорні діри.

Хокінг хворий на захворювання мотонейронів. Деякий час професор Хокінг міг спілкуватися лише одним способом: він підіймав брову, коли хтось вказував на потрібну літеру на картці з алфавітом. Та потім комп'ютерний експерт з Каліфорнії Волт Волтош, дізнавшись про стан здоров'я професора, надіслав йому власноруч розроблену програму, яку назвав Equalizer (англ. equalize — «вирівнювати»). Вона дозволяла за допомогою перемикача в долоні вибирати на екрані потрібні слова із системи меню. Вибране слово вимовляв синтезатор мовлення, який став «брендовим» голосом професора Хокінга.

Людина навчилася створювати різні пристрої для дослідження таємниць мікро- і мега-світу. У цьому величезна заслуга саме фізики. Але фізика — це не прописані на віки закони, фізика — це жива наука, яка розкриває людству нові горизонти для пізнання.

Нобелівський лауреат з фізики Девід Грос наприкінці минулого тисячоліття сформулював 10 ключових проблем, які слід розв'язати фізикам у майбутньому. Одна з них — чому наш Всесвіт має один часовий вимір і три просторові?



Стівен Вільям Гокінг (також часто Хокінг, народ. 1942 р.), фізик-теоретик, популяризатор наукових знань



Девід Грос (народ. 1942 р.), американський фізик, лауреат Нобелівської премії 2004 р.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Немає простору і часу без об'єктів фізичного світу, які постійно змінюються; так само поза простором і часом не можуть відбуватися фізичні явища і процеси.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Які об'єкти у Всесвіті належать до мегасвіту, макросвіту, мікросвіту?
2. Якими одиницями вимірюють лінійні розміри тіл; площу; об'єм?
3. Як за допомогою степенів числа 10 записати числа: сто тисяч; одна сота; одна десята; мільйон?

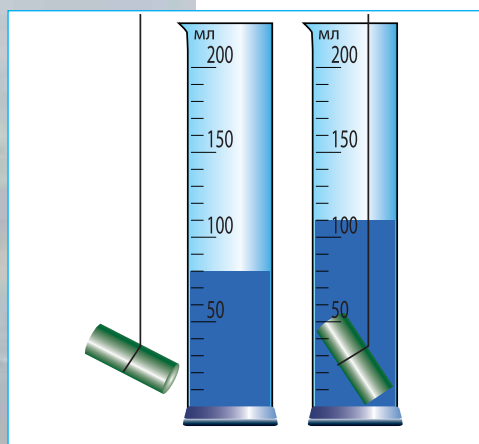


Поясніть

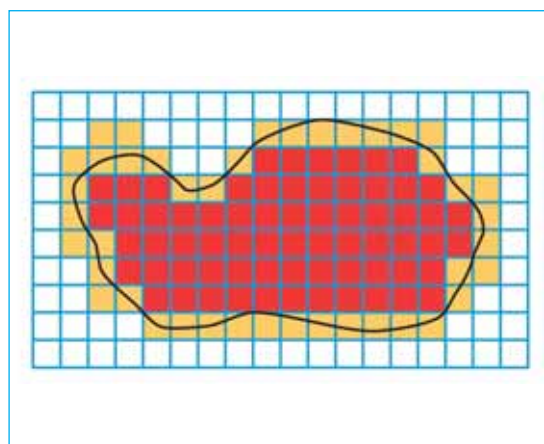
1. У наукових текстах трапляється твердження: «Простір і час — форми існування матерії». Як би ви це пояснили?
2. Чим відрізняються поняття «тривалість події» і «послідовність події»?

Вправа 3

- Розв'яжіть приклади:
 $20 \text{ см}^2 = \dots \text{ м}^2 = \dots \text{ мм}^2$;
 $20 \text{ см}^3 = \dots \text{ м}^3 = \dots \text{ мм}^3$;
 $20 \text{ л} = \dots \text{ м}^3 = \dots \text{ см}^3$.
- Паралелепіпед має довжину 15 см, ширину 10 мм і висоту 1 дм. Обчисліть об'єм паралелепіпеда.
- Скільки коробок розмірами 40x150x60 см можна розмістити в контейнері об'ємом 7,2 м³?
- Площа основи колони 0,75 м². Визначте висоту колони, якщо її об'єм 4,5 м³.
- Визначте об'єм тіла, зображеного на малюнку 19.
- Визначте довжину контуру та площу поверхні, обмежену цим контуром (мал. 20)*.



Мал. 19. Визначення об'єму тіла в мірному циліндрі



Мал. 20. Визначення периметра та площі фігури

***ПІДКАЗКА 1.** Щоб виміряти довжину контуру, скористайтесь ниткою. Викладіть її по контуру, а потім за допомогою лінійки виміряйте її довжину.

ПІДКАЗКА 2. Щоб виміряти площу фігури, обмежену контуром, треба визначити площу однієї клітинки S_k та підрахувати кількість клітинок. При цьому слід враховувати, що кількість неповних клітинок (на малюнку виділені помаранчевим кольором) слід поділити на 2.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 2

ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ.

- **Мета роботи:** навчитись визначати об'єми твердих тіл, рідин і газів.
- **Обладнання:** лінійка, мензурка, склянка з водою, тіло неправильної геометричної форми, брусок, горох, шприц, сипкі матеріали (пісок, сіль, мука тощо), ложка.

Вказівки щодо виконання роботи

- Визначте ціну поділки шкали лінійки, мензурки, шприца.
- Виміряйте лінійні розміри бруска та обчисліть його об'єм. Результати запишіть у см³ та м³.
- Налийте в мензурку певну кількість води. Виміряйте її об'єм V_1 . Опустіть у мензурку з водою тіло неправильної геометричної форми. Виміряйте спільний об'єм води та тіла V_2 . Визначте об'єм тіла: $V = V_2 - V_1$.
- Визначте об'єм горошини. Для цього знову налейте воду в мензурку. Виміряйте її об'єм V_1 . Опустіть у воду горошини, при цьому точно підрахуйте їх кількість N . Виміряйте спільний об'єм води та горошин V_2 . Визначте загальний об'єм горошин: $V = V_2 - V_1$. Визначте об'єм однієї горошини: $V_0 = \frac{V}{N}$.
- Проведіть вимірювання об'єму повітря. Для цього наберіть у шприц небагато води. Виміряйте її об'єм V_1 . Переверніть шприц поршнем донизу. Акуратно опускайте поршень, при цьому у шприц зайде повітря. Визначте його об'єм V_2 .
- Проведіть вимірювання об'єму сипких матеріалів. Насипте в мензурку піску. Виміряйте його об'єм. Визначте, який об'єм солі міститься в одній чайній (столовій) ложці. Таке саме вимірювання проведіть з цукром (мукою).
- Зробіть висновок.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонуйте спосіб вимірювання об'єму власного тіла.

Підказка. Можете скористатися ванною з водою і трилітровою банкою.

§ 4. ПОЧАТКОВІ ВІДОМОСТІ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ

► Ви дізнаєтесь

Про етапи становлення та основні положення атомно-молекулярного вчення про будову речовини



Роберт Бойль

► Пригадайте

Що таке речовина

ФІЗИЧНЕ ТІЛО І РЕЧОВИНА. Як ви вже знаєте, будь-яке тіло, вивчення якого здійснюється засобами фізики, називають фізичним тілом. Наприклад, Сонце, зірки, Земля, літак, людина, міст, повітряна кулька, склянка — це фізичні тіла. Звичайно, вони відрізняються одне від одного за своїми властивостями, але спільним у них є те, що всі вони складаються з речовини. Алюміній, повітря, вода, скло — це речовини. Краплина води — фізичне тіло, вода — речовина; склянка — фізичне тіло, скло — речовина; сталевий рейка — фізичне тіло, сталь — речовина.

Питання «З чого складається речовина?» цікавило людей ще з давніх часів. Так, давньогрецький учений, філософ Демокріт уперше висловив здогадку про те, що всі тіла складаються з найдрібніших частинок, які були названі ним *атомами* (слово *atom* у перекладі з грецької означає — *неподільний*). Та лише в XIX ст. існування таких частинок було доведено вченими експериментально.

ЕТАПИ СТАНОВЛЕННЯ ТА ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЧЕННЯ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ. Багато учених при-



Отто Штерн



Роберт Броун



Жан Батист Перен

святили свою діяльність дослідженню будови речовини: англійський фізик і хімік *Роберт Бойль* встановив, що всі речовини можна розділити на два класи: хімічні елементи і хімічні сполуки; російський учений *Д. І. Менделєєв* класифікував усі відомі йому хімічні елементи і створив періодичну систему хімічних елементів; англійський ботанік *Роберт Броун*, розглядаючи в мікроскоп пилок квітів, розведених у воді, помітив, як швидко і безладно рухається пилок у воді; французький фізик *Жан Батист Перен* зумів пояснити це явище, і довів існування молекул, розрахував їх розміри; німецький фізик *Отто Штерн* визначив швидкості руху молекул. На основі досліджень цих та багатьох інших учених у XX ст. було створено теорію будови речовини, так звану *молекулярно-кінетичну теорію*.

Згідно з молекулярно-кінетичною теорією всі речовини складаються з дрібних частинок (молекул, атомів або іонів), між якими є проміжки. Частинки хаотично (безладно) рухаються і взаємодіють між собою.

МОЛЕКУЛИ. АТОМИ. Як вам уже відомо з курсу природознавства та хімії, речовини бувають простими і складними. Прості речовини (або хімічні елементи) складаються з атомів одного виду. У природі існує понад 100 типів атомів.

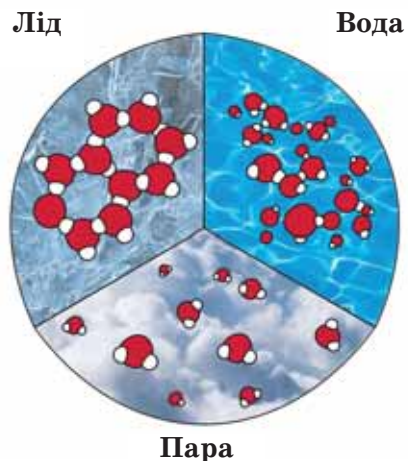
У деяких простих речовинах атоми об'єднуються у групи й утворюють молекули. Наприклад, молекула кисню O_2 складається з двох однакових атомів Оксигену.

Молекули складних речовин (або хімічних сполук) складаються з різнотипних атомів. Наприклад, молекула вуглекислого газу CO_2 складається із двох атомів Оксигену й одного атома Карбону, молекула води H_2O складається із двох атомів Гідрогену й одного атома Оксигену.

Атом — це найменша частинка речовини, яка є носієм її хімічних властивостей.

Молекула — частинка речовини, яка складається з однакових (проста речовина) чи різних (складна речовина) атомів, що об'єднані хімічними зв'язками.

Під час фізичних процесів склад молекул речовини залишається незмінним, хоча сама речовина може змінювати свій стан. Наприклад, така рідина, як вода може перебувати у твердому (лід) та газоподібному (водяна пара) станах. При



Мал. 21. Розташування молекул H_2O в різних агрегатних станах

цьому склад молекули льоду, води і водяної пари залишається однаковим (два атоми Гідрогену й один атом Оксигену — H_2O), відмінність полягає лише у взаємному розміщенні й русі молекул (мал. 21).

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

ЯДЕРНА МОДЕЛЬ АТОМА. Тривалий час вважали, що атом неподільний, що нічого меншого, ніж атом у природі не існує. У 1911 р. завдяки дослідям англійського ученого **Ернеста**

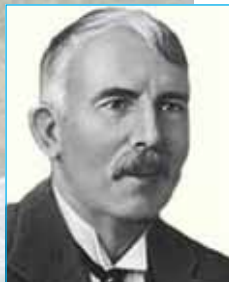
Резерфорда вдалося встановити, що атом складається з ще дрібніших частинок. В основному атом порожній: у центрі його міститься дуже маленьке і дуже щільне *ядро*, а навколо нього — *електрони*, які дуже швидко обертаються.

Таку модель будови атома назвали *ядерною* (або планетарною) моделлю атома.

Досліди Резерфорда дали поштовх подальшим дослідженням атома. Частинка, яка довгий час вважалася неподільною, як виявлося, складається з позитивного ядра та електронів! А чи існують ще менші частинки? І чи можна «розбити ядро»?

У 1932 р. учень Резерфорда, англійський фізик **Джеймс Чедвік** відкрив нейтрон. Ця частинка не має електричного заряду. У тому ж році фізики Дмитро Іваненко і Вернер Гейзенберг запропонували протонно-нейтронну модель ядра атома.

Ядро атома складається з частинок двох типів: з елек-



Ернест Резерфорд



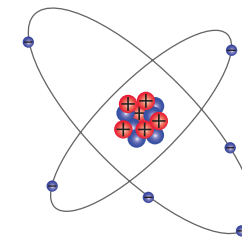
Джеймс Чедвік



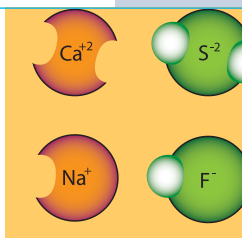
Д. Іваненко



Вернер Гейзенберг



Мал. 22. Протонно-нейтронна модель будови ядра атома



Мал. 23. Йони

трично заряджених протонів і нейтронів, які не мають електричного заряду. Кількість протонів у ядрі дорівнює кількості електронів, що перебувають на орбітах атома, тому атом у цілому електрично незаряджений, або електрично нейтральний (мал. 22).

Атом кожного елемента має свої фіксовані кількості електронів, протонів і нейтронів, а відповідно — і свою масу. Якщо взяти будь-який атом із таблиці хімічних елементів, наприклад Карбон, то цифра 6, яка визначає його порядковий номер у таблиці, вказує на кількість протонів у ядрі (а отже, і кількість електронів).

Встановлено, що внаслідок відповідних процесів (хімічних реакцій, електромагнітних взаємодій) атом може втрачати, або навпаки — приєднувати до себе електрони, у результаті утворюються так звані *йони* (мал. 23). Якщо атом втрачає електрони — він перетворюється на позитивний іон, а якщо приєднує — на негативний іон.

А чи є електрони, протони і нейтрони неподільними частинками? Як виявляється — ні. Існують ще менші частинки. І фізики до цього часу шукають, яка саме частинка буде най-найменшою.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Згідно з молекулярно-кінетичною теорією всі речовини складаються із дрібних частинок (молекул, атомів або йонів), між якими є проміжки.

Частинки хаотично рухаються і взаємодіють між собою.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Наведіть приклади фізичних тіл. З якої речовини вони складаються?
2. Сформулюйте основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Наведіть приклади, що підтверджують ці положення.
3. Які речовини називають простими, а які — складними?
4. Яка будова атома? Ядра атома?

Поясніть

1. Чи однакові атоми в різних хімічних елементах? Чим вони відрізняються один від одного?
2. Skorиставшись таблицею хімічних елементів, опишіть склад атомів *Cu*, *Cl*, *Na*, *Mn*.
3. Користуючись малюнком 24, визначте діаметр атома Ауруму (масштаб: в 1 мм — $7 \cdot 10^{-14}$ м).



Мал. 24. Фотографія золотої фольги, одержана за допомогою електронного мікроскопа

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

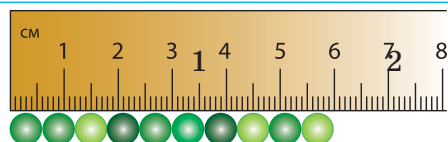
№ 3

ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ МАЛИХ ТІЛ

- **Мета роботи:** ознайомитися з методами вимірювання розмірів малих тіл.
- **Обладнання:** лінійка; дрібні тіла (горох, пшоно або мак); голка; нитка (або дріт).

Вказівки щодо виконання роботи

1. Покладіть впритул до лінійки 10—15 горошин (мал. 25).

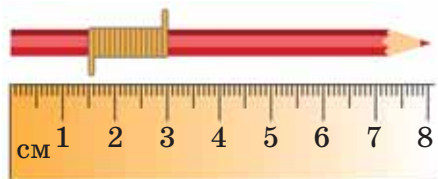


Мал. 25. Визначення розміру горошини методом рядів

2. Виміряйте довжину ряду.
3. Обчисліть діаметр однієї горошини.
4. Визначте способом рядів середній діаметр зерен маку (пшоно). Підказка: укласти щільно зернятка маку вам допоможе голка.
5. Результати вимірювань та обчислень занесіть до таблиці.

№ досліджу	Кількість частинок у ряду	Довжина ряду, мм	Розмір однієї частинки, мм
1 (горох)			
2 (пшоно)			
3 (мак)			

6. Використовуючи спосіб рядів, визначте діаметр нитки (мал. 26).



Мал. 26. Визначення діаметра нитки

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонуйте спосіб вимірювання звичайною лінійкою товщини аркуша підручника. Запропонуйте спосіб підрахунку кількості літер (наближено) у цьому підручнику.

§ 5. ІСТОРИЧНИЙ ХАРАКТЕР ФІЗИЧНОГО ЗНАННЯ

► Ви дізнаєтесь

Про етапи розвитку фізичних знань
Про творців фізичної науки

► Пригадайте

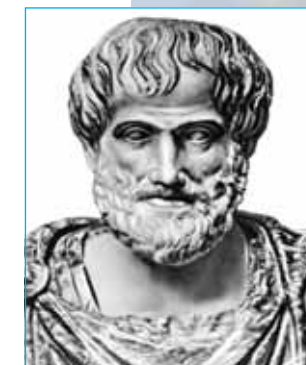
Які учені-фізики вам відомі

ІСТОРИЧНІ ЕТАПИ СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИКИ. Термін «фізика» введений давньогрецьким ученим Аристотелем (384—322 до н. е.). Твори Аристотеля можна назвати великою енциклопедією стародавньої науки. Учення Аристотеля панувало майже 2 тисячі років! Але «Фізика» Аристотеля зовсім не схожа на сучасні підручники з фізики. У ній ви не знайдете жодного опису досліду чи приладу, жодного малюнка чи креслення, жодної формули. У ній — філософські міркування про предмет, про місце, про час, про рух взагалі. Багато міркувань Аристотеля виявилися хибними, але, не зважаючи на всі помилки, ми цінуємо його як глибокого мислителя, одного із засновників науки про природу.

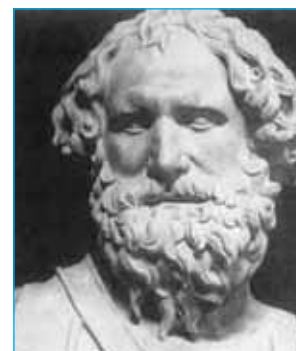
Не можна не назвати ще одного грецького мислителя й інженера — Архімеда. Він увійшов в історію науки як автор закону гідростатики, названого його ім'ям, як винахідник важеля. Про цього вченого збереглося чимало легенд.

Другий етап розвитку фізики відкривають праці Галілео Галілея (1564—1642) — великого італійського фізика й астронома, який уперше застосував експериментальний метод у науці.

Існує думка, що великі відкриття, формулювання нових законів — це результат роботи учених — людей поважного віку. Насправді, як свідчить іс-



Аристотель



Архімед



Галілео Галілей



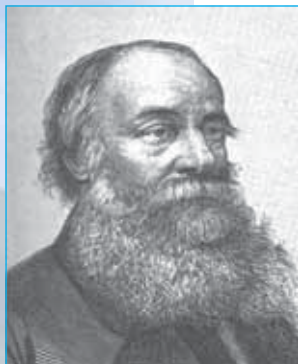
Ісаак Ньютон

торія науки, все інакше: відкриття часто роблять зовсім молоді люди. Так, Галілео Галілей своє перше відкриття зробив у 19 років, а вже в 25 років — став професором Пізанського університету. Він сформулював важливі закони руху — закон інерції, закони вільного падіння, принцип відносності та багато інших. Виготовив перший маятниковий годинник, зорову трубу (телескоп).

Через рік після смерті Галілея народився Ісаак Ньютон (1643—1727) — видатний англійський фізик, астроном, математик. Його називають засновником *класичної механіки*, або, як кажуть, механіки Ньютона. Він сформулював основні закони механічного руху, відкрив закон всесвітнього тяжіння, пояснив особливості руху Місяця, розглянув теорію припливів і відпливів, зробив значний внесок у вивчення оптичних явищ.

Розвиток основних напрямів класичної фізики припадає на XVIII—XIX ст.: це дослідження будови речовини (Михайло Ломоносов, Рудольф Клаузіус), дослідження властивостей газів та пари (Дмитро Менделєєв, Людвіг Больцман), винахід теплових (парових) машин та двигунів (Джеймс Уатт, Саді Карно), вивчення електричних явищ (Джозеф-Джон Томсон, Шарль Кулон, Олександр Вольта, Андрі Марі Ампер, Георг Ом, Джеймс Прескотт Джоуль). Особливий внесок у розвиток фізики зробили дослідники електромагнітного поля (Майкл Фарадей, Джеймс Максвелл).

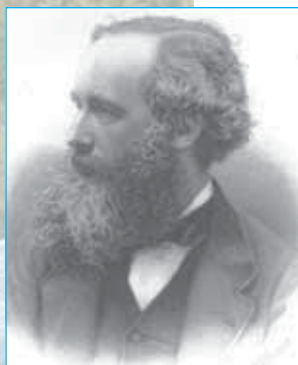
Становлення сучасної фізики припадає на кінець XIX ст. та початок XX ст.



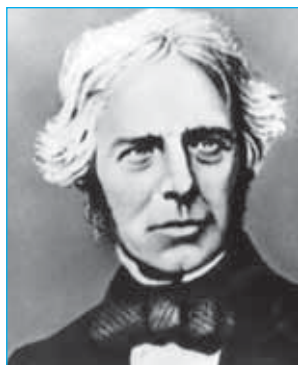
Джеймс Джоуль



Саді Карно



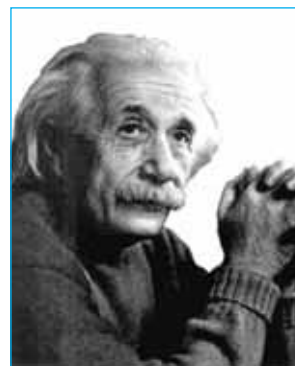
Джеймс Максвелл



Майкл Фарадей



Георг Ом



А. Ейнштейн



О. Столетов



Макс Планк

Так, Альберт Ейнштейн у 1905 р. створив теорію відносності, яка докорінно змінила погляди на перебіг подій і фізичних явищ у просторі і часі. Як стверджував сам учений, він продовжив учення Г. Галілея та І. Ньютона про рух і дав нове тлумачення уявлень про простір і час.

Інший важливий напрям цього періоду характеризується великими відкриттями в будові атома та атомного ядра. Дослідження Ернеста Резерфорда, Альберта Ейнштейна, Олександра Столетова, Макса Планка, Нільса Бора та інших сприяли становленню *квантової фізики*.

Це, звичайно, дуже короткий перелік тих, кого можна назвати творцями фізичної науки. Вивчаючи фізику, ми обов'язково будемо згадувати, кому завдячуємо тим чи іншим відкриттям, хто досліджував певне явище і встановив його закономірності.

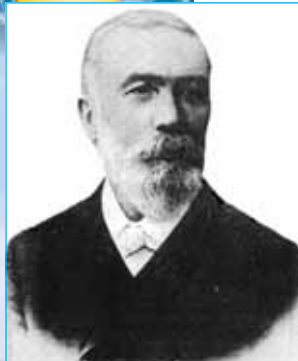


Нільс Бор

ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК НАУКИ.

Українська земля багата на талановитих учених. Вихідці з України працювали як на її теренах, так і за кордоном. Світовій науці добре відоме ім'я **Івана Пулюя** (1845—1918), який народився і закінчив гімназію на Тернопільщині, згодом працював у Празі, був деканом першого в Європі електротехнічного факультету. Він уперше спостерігав Х-промені.

Микола Дмитрович Пільчиков (1857—1908) — засновник досліджень аномалій земного магнетизму. Провів фундаментальні дослідження електричних явищ в атмосфері та властивостей світла, створив велику кількість оригінальних приладів і пристроїв. Він перший у світі поставив експери-



Іван Пулуй



М. Д. Пільчиков



І. В. Обреїмов

менти з радіокерування на відстані, на власні кошти збудував першу радіостанцію в Україні.

Іван Васильович Обреїмов (1894—1981) — засновник і перший директор (1929—1932) Українського фізико-технічного інституту (тепер — Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»). Основні його роботи — у галузі кристалофізики, оптики органічних кристалів, оптотехніки. Розробив метод вирощування монокристалів із розплаву.

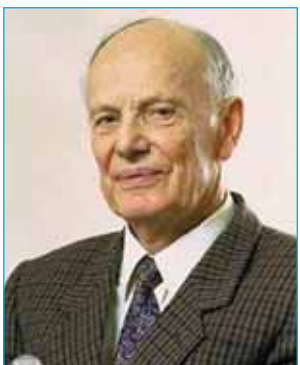
Абрам Федорович Йоффе (1880—1960) — у 1911 р. експериментальним шляхом визначив заряд електрона (одночас із Р. Міллікеном). Найбільша його заслуга — створення школи фізиків, вихідці якої стали видатними вченими (О. Александров, Л. Арцимович, П. Капіца, І. Кікоїн, І. Курчатов, М. Семенов, Я. Френкель). Серед них є лауреати Нобелівської премії в галузі фізики та хімії.



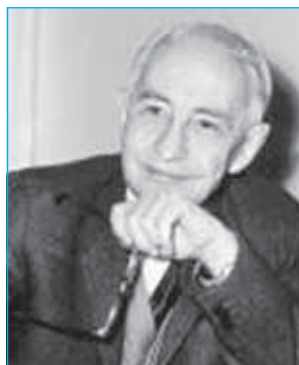
А. Ф. Йоффе



Є. О. Патон



Б. Є. Патон



К. Д. Синельников

Євген Оскарович Патон (1870—1953) у 1934 р. заснував у Києві перший у світі Інститут електрозварювання, який носить його ім'я. Цей науковий заклад і сьогодні є провідним у світі.

Його син **Борис Євгенович Патон** — визначний учений у галузі матеріалознавства й електрозварювання, протягом багатьох років очолює Національну академію наук України.

Кирило Дмитрович Синельников (1901—1966) — один з основоположників сучасної ядерної прискорювальної техніки. У 1932 р. (разом з А. К. Вальтером, О. І. Лейпунським, Г. Д. Латишевим) здійснив першу в нашій країні штучну ядерну реакцію, яка привела до розщеплення ядер Літію.

Лев Давидович Ландау (1908—1968), переїхавши на Україну, протягом 1932—1937 рр. очолював теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту. Під час перебування вченого в Харкові це місто стає одним зі світових центрів фізики. Лев Ландау зробив відкриття майже в усіх галузях фізики, нагороджений Нобелівською премією.

Олександр Теодорович Смакула (1900—1983) — винайшов спосіб «просвітлення» оптики, який дотепер застосовують у всьому світі. Вам, можливо, також доводилось бачити, як об'єктив фотоапарата відсвічує зеленувато-блакитним кольором.

Віктор Григорович Бар'яхтар (народ. 1930) — український учений у галузі теоретичної фізики магнітних явищ, фізики твердого тіла, доктор фізико-математичних наук, академік НАН України, заслужений діяч науки і техніки УРСР. Герой України. З 1995 р. — засновник та перший директор Інституту магнетизму НАН України.

А скількох авіаконструкторів, розробників космічної техніки виростила українська земля!

Ігор Іванович Сікорський (1889—1972) — авіаконструктор, сконструював перший у світі вертоліт.

Юрій Васильович Кондратюк (1897—1942) — запропонував вивести спочатку космічний корабель на орбіту навколо Місяця, а потім запустити з корабля злітно-посадковий апарат, на якому людина висадиться на Місяці та повернеться на космічний корабель. Використання цієї ідеї надало йому світової слави, його ім'ям названо один із кратерів на Місяці.



Л. Д. Ландау



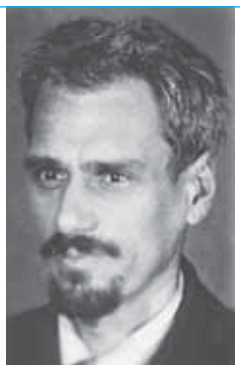
О. Т. Смакула



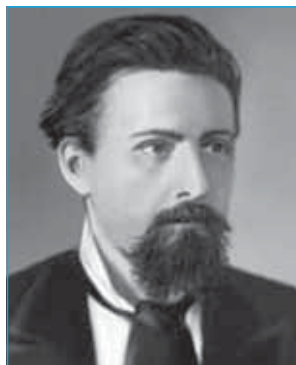
В. Г. Бар'яхтар



I. I. Сікорський



Ю. В. Кондратюк



М. І. Кибальчич

Микола Іванович Кибальчич (1853—1881) — автор проекту оригінального літального апарата, що був побудований за принципом ракети і приводився в рух за допомогою реактивного двигуна.

Володимир Миколайович Челомей (1914—1984) — учений у галузі механіки, конструктор ракетно-космічної техніки, супутників «Протон».

Сергій Павлович Корольов (1907—1966) — український радянський учений у галузі ракетобудування та космонавтики, конструктор. Під його керівництвом створено пілотовані космічні кораблі, на яких уперше в історії здійснено космічний політ людини та її вихід у міжпланетний простір.



В. М. Челомей



С. П. Корольов

ФІЗИКА В ПОБУТІ, ТЕХНІЦІ, ВИРОБНИЦТВІ.

Як відомо, закони природи не залежать від волі чи бажань людини. Як би ми не хотіли, щоб, наприклад, швидше настала весна і було багато сонячних і теплих днів, весна настане у строгій відповідності з положенням Землі відносно Сонця, а погода буде такою, яку створять атмосферні умови. Однак незалежність законів природи від бажань людей не означає, що розвиток людського суспільства не залежить від законів природи. Саме знання законів природи, властивостей природних тіл є основою для розвитку людського суспільства.

Великою заслугою людини є те, що вона здатна використовувати знання про природні властивості тіл. І світ, що оточує людину, заповнений рукотворними, створеними людиною, об'єктами.

Фізика вплинула на розвиток цивілізації та хід світової історії більше, ніж будь-яка інша наука.

На основі фізичних досліджень створено пристрої та машини, що полегшують життя людини як у побуті, так й у виробничій сфері: телефон, комп'ютер, телевізор, автомобіль, установки автоматичного керування, системи зв'язку, техніка і технології. Цей перелік можна продовжувати і продовжувати. Усе, що вдалося створити людині, — заслуга фізики.

Сучасна фізика, крім наукового, має важливе соціокультурне значення. Вона стала невід'ємною складовою культури високотехнологічного інформаційного суспільства.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

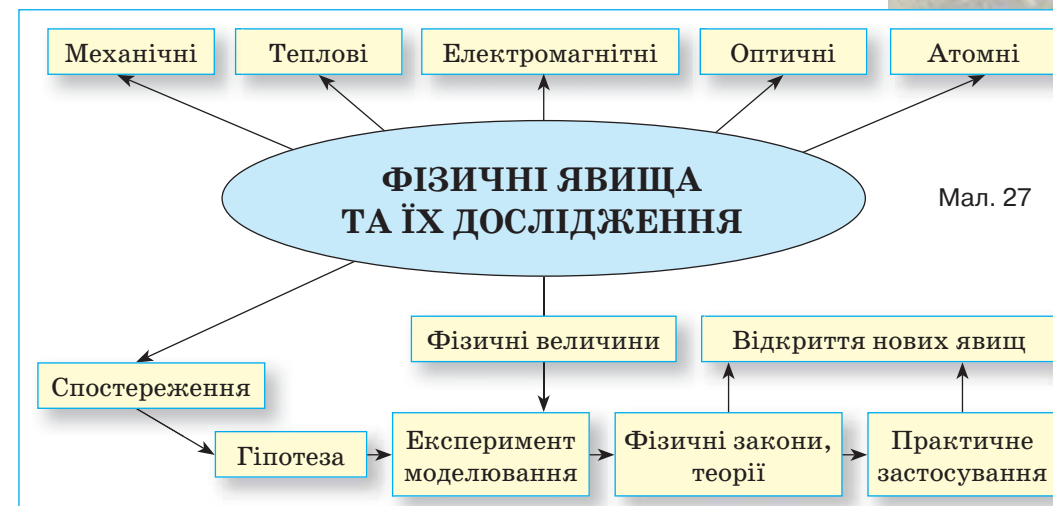
Дайте відповідь на запитання

1. Хто автор першої наукової праці, яка заклала основи фізики?
2. Які вчені античного періоду стояли у витоків фізичної науки? Хто заклав основи класичної фізики; сучасної фізики?
3. Які українські вчені-фізики вам відомі? Які їхні заслуги?
4. Наведи приклади побутових і технічних пристроїв, для створення яких потрібні знання з фізики.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ДО РОЗДІЛУ «ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА»

- Фізика — фундаментальна природнича наука.
- Фізика вивчає загальні закони руху і взаємодії тіл, будову та властивості речовини, перетворення матерії.
- Фізика досліджує явища природи, які належать до мікро-, макро-, мегасвіту (мал. 27).
- Фізика оперує специфічними термінами, має свої методи дослідження (мал. 27).
- Фізика має багату історію, яка налічує чимало віків.
- Фізика постійно розвивається і разом з іншими науками розширює людству горизонти в пізнанні матеріального світу.

Фізика і методи дослідження фізичних явищ





РОЗДІЛ

2

МЕХАНІЧНИЙ РУХ

▶ Ви, напевне, знайомі з висловом «І все ж вона обертається». А що ж означає цей вислів?

▶ Цей вислів приписують визначному італійському астрономові, фізику і механіку Галілею (1564—1642), який був притягнутий до суду інквізиції за визнання «єретичного» вчення Коперника про рух Землі навколо Сонця. Стоячи на колінах, Галілей змушений був присягти в тому, що він відмовляється від «єресі». Легенда твердить, ніби після зречення Галілей, тупнувши ногою, вигукнув: «І все ж вона обертається!». Легендарний вислів Галілея вживається для позначення глибокої впевненості, переконаності в чомусь.

▶ Про те, що Земля обертається навколо Сонця, не знав і герой А. Конан-Дойля Шерлок Холмс. «Мої очі бачать, що Сонце зранку піднімається на сході й заходить на заході, отже, Сонце обертається навколо Землі», — стверджував знаменитий детектив.

▶ Дійсно, рухи Сонця, Землі, Місяця, планет стали зрозумілими людям не відразу. Багато років знадобилось ученим, щоб з'ясувати дійсну картину руху небесних тіл, та й взагалі, будь-яких тіл у природі.

▶ Як ви вже знаєте, навколишній світ є матерія, яка вічно рухається і розвивається. «Все рухається, все змінюється», — стверджували давньогрецькі вчені Геракліт і Платон.

Поміж різних форм руху матерії виокремлюють декілька основних:

- механічна (просторове переміщення тіл одне відносно одного);
- теплова (безперервний хаотичний рух молекул);
- електромагнітна (рух та взаємодія електрично заряджених тіл і частинок);
- хімічна (утворення й розпад молекул, що входять до складу різних речовин);

- біологічна (органічне перетворення в живих організмах);
 - соціальна (життя і розвиток людського суспільства).
- Кожна форма руху має свої особливості й закономірності. А почнемо — із механічного руху.

Вивчаючи розділ «Механічний рух», ви навчитеся його описувати, застосовуючи специфічні фізичні терміни й величини, а також за допомогою графіків ознайомитесь із простими формами механічного руху та його характерними ознаками.

- § 6. Механічний рух
- § 7. Поступальний рух
- § 8. Шлях. Переміщення
- § 9. Рівномірний прямолінійний рух. Швидкість рівномірного прямолінійного руху
- § 10. Рівняння руху. Графіки рівномірного прямолінійного руху
- § 11. Нерівномірний прямолінійний рух. Середня швидкість нерівномірного руху
- § 12. Рівномірний рух по колу
- § 13. Коливальний рух. Маятники



§ 6. МЕХАНІЧНИЙ РУХ

► Ви дізнаєтесь

Що таке механічний рух
Як впливає вибір системи відліку
на опис стану тіла

► Пригадайте

Що означає вислів «Рух —
це форма існування матерії»

МЕХАНІЧНИЙ РУХ. Розглянемо, наприклад, рух автомобіля. Що нам дає змогу з упевненістю стверджувати, що автомобіль рухається? Звичайно, те що його положення в просторі постійно змінюється.

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



З механічним рухом ви стикаєтесь на кожному кроці (мал. 28): рухаються люди, тварини, транспортні засоби, тече вода в річках і морях, коливаються дерева від вітру і т. д. У Всесвіті рухаються небесні об'єкти: зорі, галактики, планети, комети тощо. Навколо Землі обертається велика кількість штучних супутників. У мікросвіті рухаються дрібні частинки речовини: атоми, молекули, електрони та інші найдрібніші частинки.



Рухаються не лише фізичні тіла, які мають визначені розміри, рухаються й інші об'єкти природи, наприклад, тіні, сонячні промені, електромагнітні хвилі. Рух цих об'єктів ви детальніше будете вивчати в 9 класі. Спочатку вам треба навчитися досліджувати прості форми механічного руху, навчитись описувати рух тіл, застосовуючи прийняті у фізиці поняття і величини.



Мал. 28.
Приклади
механічного
руху

ВІДНОСНІСТЬ РУХУ. СИСТЕМА ВІДЛІКУ. Основною ознакою механічного руху тіла є те, що воно змінює своє положення. Щоб фіксувати зміну положення тіла у просторі, треба встановити, *відносно чого* відбувається саме ця зміна.

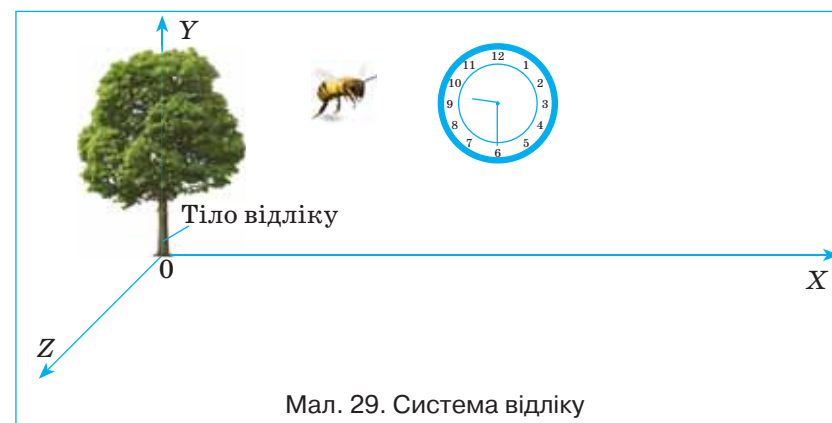
Роздивляючись навколишній світ, ви бачите, що не рухаються будинки, мости, дерева. Але не рухаються відносно чого? Відносно Землі, так, — вони нерухомі. А відносно Сонця? Вони обертаються навколо нього разом із Землею. Отже, *відносність* — одна з найважливіших ознак механічного руху.

Тому для розв'язання будь-якої задачі про рух треба передусім вибрати *систему відліку*, в якій досліджуватиметься рух тіла. Наприклад, автомобіль їде по дорозі. Положення автомобіля змінюється відносно дерев, будинків, що стоять на узбіччі. У цьому разі дерево чи будинок можна вважати за *тіло відліку*, відносно якого розглядається рух автомобіля. Тілом відліку може бути й інший автомобіль, що їде по дорозі. Тіло відліку можна вибирати довільно — як зручніше для даної задачі.

Тіло, відносно якого розглядають рух досліджуваного тіла, називають тілом відліку.

Але для опису механічного руху тіла недостатньо лише обрати тіло відліку. Щоб описувати зміну *положення* тіла в просторі, потрібна система координат і прилад для вимірювання часу (наприклад, годинник). Як правило, початок координат суміщають із тілом відліку. У цьому разі зміна положення рухомого тіла відносно тіла відліку визначатиметься *зміною його координат у часі*.

Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і прилад для відліку часу утворюють *систему відліку* (мал. 29).



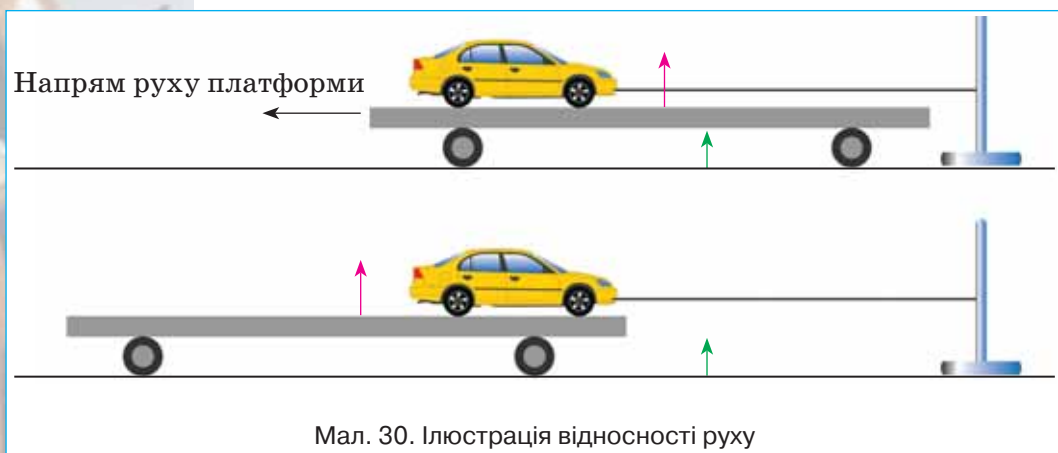
Мал. 29. Система відліку

Один і той самий рух у різних системах відліку сприймається по-різному.

► **Приклад 1.** Розглянемо такий дослід. Установимо на легкорухому платформу іграшковий автомобіль, який прив'яжемо до нерухомого штативу (мал. 30). Акуратно будемо рухати платформу, віддаляючи її від штатива і стежачи, щоб нитка, яка утримує іграшковий автомобіль, була в натягнутому стані.

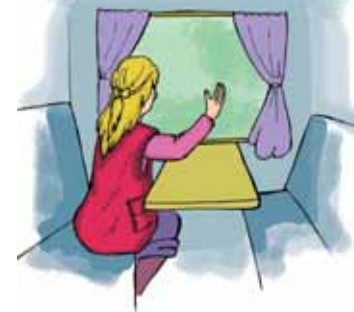
Як у цих умовах сприйматиметься рух автомобіля різними спостерігачами?

Відносно спостерігача, що знаходиться на Землі (зелена стрілочка), іграшковий автомобіль залишатиметься у спокої. Спостерігачеві, який знаходиться на платформі (червона стрілочка) і не знає, що рухають саме платформу, буде здаватися, що повз нього переміщується саме іграшковий автомобіль.



Мал. 30. Ілюстрація відносності руху

► **Приклад 2.** Уявімо собі пасажирів, що сидять у вагоні рухомого поїзда (мал. 31, а). Що можна сказати про його рух? Провідник вагона скаже про пасажирів, що вони нерухомі (сидять), людина, що перебуває на платформі, повз яку рухається поїзд, запевняє, що пасажир рухається повз неї (мал. 31, б). І по суті, кожний із них має рацію. Провідник вагона, заявляючи про те, що пасажир не рухається, розглядає положення пасажирів відносно предметів у вагоні. Людина на платформі, що спостерігає за рухом поїзда, розглядає положення пасажирів відносно себе або платформи. Оскільки обидва спостерігачі розглядали положення відносно різних предметів, то вони і прийшли до різних висновків.



а



б

Мал. 31, а — пасажир нерухомий відносно купе;
б — пасажир рухається відносно спостерігача

► **Приклад 3.** Пасажир перебуває у закритій каюті річкового пароплава, де він бачить тільки стіни каюти і закрите фіранкою вікно. Чи може він сказати щось певне про рух пароплава? Якщо пароплав іде спокійно, і не чути шуму роботи двигунів, пасажир не може визначити, рухається пароплав чи ні. Треба відкрити вікно, знайти якийсь нерухомий предмет на березі, і тільки за зміною віддалі до цього предмета можна зробити висновок про рух пароплава.

Наведені приклади підтверджують, що **спокій і рух** — поняття відносні.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

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

Для опису механічного руху тіла вибирають систему відліку.

Рух і спокій — поняття відносні.

ЦІКАВІ ФАКТИ

ГАЛІЛЕО ГАЛІЛЕЙ

Питання про відносність руху і спокою вивчав славетний італійський учений Галілео Галілей (1564—1642).

Дослідникам пропонувалося спостерігати за поведінкою комах, рибок в акваріумі, краплин води, що скакують в посудину, під палубою корабля, який рухатиметься з постійною швидкістю без розгойдування.

«...Приведіть тепер корабель у рух з якою завгодно швидкістю. Якщо рух буде рівномірним і без гойдання в той чи інший бік, то в усіх вказаних явищах ви не виявите жодної зміни і ні за жодним із них не зможете встановити, рухається корабель чи стоїть на місці».

Учений наголошує, що всередині цієї системи відліку не можна буде відрізнити стан рівномірного руху від стану спокою.



Галілео Галілей

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що називають механічним рухом?
2. Порівняйте поняття «тіло відліку» і «система відліку». Чим вони відрізняються? Що в них спільного?
3. Чому механічний рух відносний?

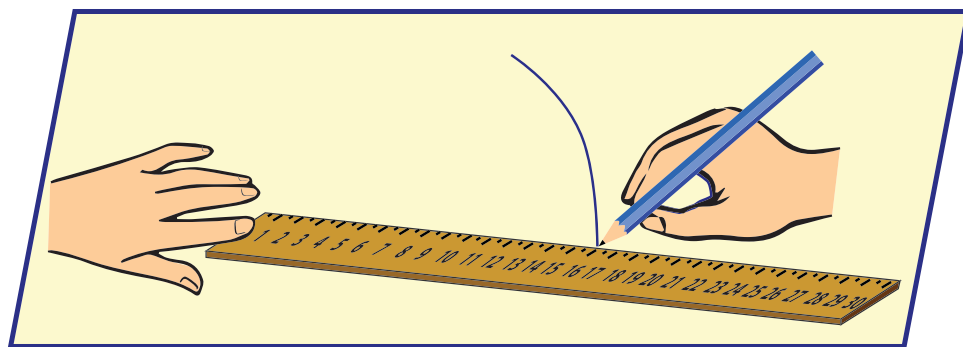


Поясніть

1. Як ви розумієте вислів «Рух — це життя»?
2. Чому кажуть, що Сонце сходить і заходить? Що в цьому разі є тілом відліку?
3. Уявіть, що ви перебуваєте у вагоні купе потягу, що прямує з Києва до Львова. Опишіть характер вашого руху відносно столика, залізничної колії, Південного вокзалу в м. Києві, Сонця.
4. Два автомобілі рухаються в одному напрямку так, що деякий час відстань між ними не змінюється. Вкажіть, відносно яких тіл протягом цього інтервалу часу кожний перебуває у спокої і відносно яких вони рухаються.
5. Річкою пливе рибалка в човні з веслами, і поряд — гілка. Що легше для рибалки: обігнати гілку на деяку відстань, чи відстати від неї на таку саму відстань?

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Візьміть лінійку, олівець й аркуш паперу. Покладіть лінійку на аркуш паперу. Зафіксуйте положення олівця біля однієї з відміток лінійки (наприклад, на позначці 16 см) (див. мал. 32). Один кінець лінійки притримуйте пальцем, а інший переміщуйте за допомогою олівця. Зробіть висновок про характер руху олівця відносно різних систем відліку.



Мал. 32. Обладнання для дослідів

§ 7. ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ



Ви дізнаєтесь

Чим відрізняється поступальний рух від обертального
Що таке матеріальна точка



Пригадайте

Що називають механічним рухом
Як впливає вибір системи відліку на опис руху тіла

ПОСТУПАЛЬНИЙ І ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХИ. Механічний рух умовно ділять на два найпростіші види: поступальний і обертальний рухи.

Поступальний рух — це такий рух тіла, під час якого всі точки тіла рухаються однаково.

Поступально рухаються сходи ескалятора метро, курсор на моніторі комп'ютера, потяг на прямолінійній ділянці шляху тощо. Під час поступального руху будь-яка пряма лінія, уявно проведена в тілі, залишається паралельною сама собі (мал. 33, а, 34 — лінія АВ).

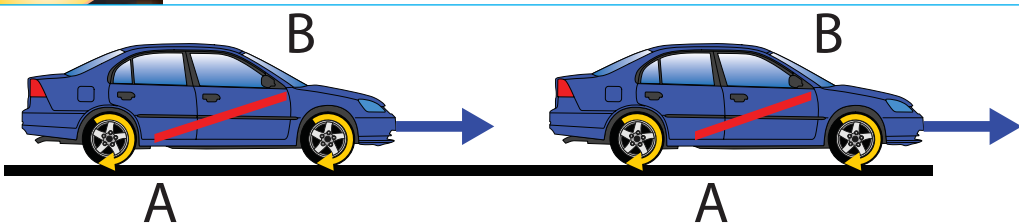
Обертальний рух, або обертання, — це такий рух тіла, коли всі точки тіла рухаються по колах, центри яких розташовані на одній прямій лінії — на осі обертання (мал. 33, б).

Добове обертання Землі, обертання дзиги, обертання Землі навколо Сонця — усе це приклади обертального руху.

Якщо перевернути велосипед колесами догори і розкрутити їх, то одержимо обертальний рух коліс; при цьому вісь обертання кожного колеса буде вісь, на якій воно прикріплене до корпусу велосипеда. А от під час звичайного руху велосипеда точки на його колесах здійснюють складніший рух,



Мал. 33. Рухи тіла: а — поступальний; б — обертальний



Мал. 34. Поступальний рух кузова автомобіля.
Рух коліс — це сума поступального й обертального рухів

який являє собою суму поступального й обертального рухів. Слід зазначити, що, як правило, рух будь-якого тіла — це сума поступального й обертального рухів (мал. 34).

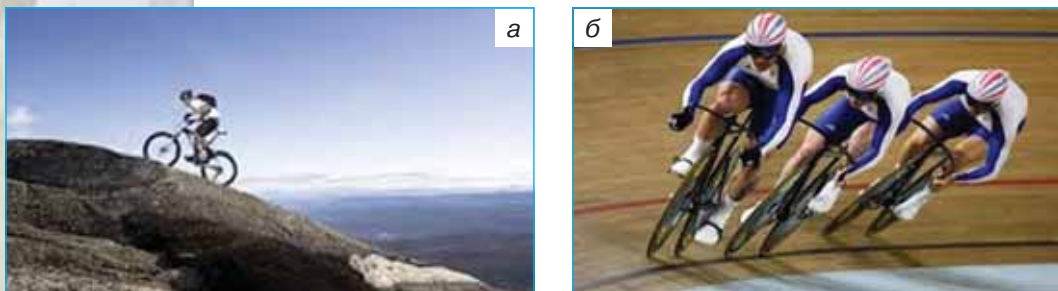
МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА. Механічні рухи тіл можуть бути різноманітні та складні. Вивчення механічного руху почнемо з найпростішого випадку, коли достатньо дослідити рух тіла за положенням лише однієї його точки. *У яких випадках таке можливо?*

Випадок 1. Якщо розміри та форма тіла в досліджуваному русі не суттєві й ними можна знехтувати порівняно із відстанню, яку тіло долає. Як, наприклад, політ кулі до мішені, рух потяга між містами. Описуючи рух у цих випадках, тіло приймають за точку, у фізиці кажуть — за *матеріальну точку*.

Матеріальна точка — це тіло, розмірами і формою якого в певній задачі можна знехтувати.

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

Наприклад, велосипедиста, який рухається по дорозі й долає відстань 1 км, можна вважати матеріальною точкою (мал. 35, а), але не можна в разі потреби визначити, на який кут він нахилється під час повороту (мал. 35, б).



Мал. 35. Поняття матеріальної точки: а — велосипедист як матеріальна точка; б — велосипедиста не можна вважати матеріальною точкою

Можна чи не можна вважати тіло матеріальною точкою — залежить не від розмірів тіла, а від поставленої задачі.

Випадок 2. Коли достатньо дослідити рух лише однієї з точок тіла, якщо всі вони рухаються однаково. А ви вже знаєте, що це буває під час *поступального руху*.

Матеріальна точка є *фізичною моделлю* тіла з певними розмірами. Нею користуються для спрощення опису руху реального тіла.

Матеріальна точка — не єдина модель у фізиці, з іншими ви ознайомитеся згодом, вивчаючи фізику.

ТРАЄКТОРІЯ. Якщо фіксувати безперервно положення рухомого тіла у просторі точками, то отримаємо лінію, яку називають *траєкторією* руху.

Траєкторія — неперервна уявна лінія, яку описує матеріальна точка під час свого руху в обраній системі відліку.

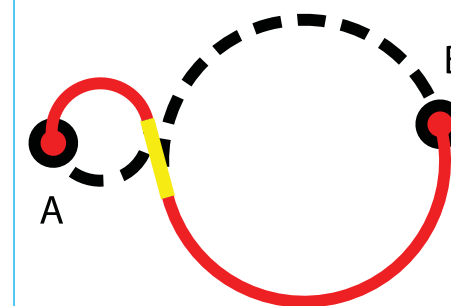
Траєкторія руху тіла інколи може бути заздалегідь відомою, наприклад, траєкторія руху потяга визначена залізничною колією, траєкторія руху плота — течією річки. Траєкторія руху може бути видимою (сліди на снігу, туманний слід від літака — мал. 36) і невидимою (політ птаха).

За формою траєкторії розрізняють два види руху: *прямолінійний* і *криволінійний*. Траєкторією прямолінійного руху тіла є пряма лінія. Траєкторії криволінійного руху можуть бути дуже складні, але будь-яку криву лінію можна з потрібною точністю подати як послідовність прямолінійних відрізків і дуг кіл різних радіусів (мал. 37).

Вигляд траєкторії руху одного і того самого тіла залежить, відносно якого тіла відліку цей рух розглядають.



Мал. 36. Траєкторії руху тіл



Мал. 37. Моделювання траєкторії криволінійного руху

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Механічний рух умовно ділять на два найпростіші види: *поступальний* і *обертальний* рухи.

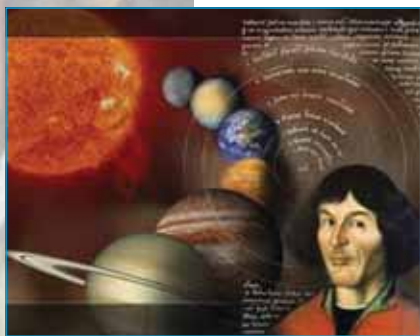
Якщо розглядають поступальний рух тіла або рух тіла, розміри якого малі порівняно з довжиною пройденої ним відстані, то достатньо дослідити рух лише однієї його точки.

Неперервна уявна лінія, яку описує матеріальна точка під час свого руху в обраній системі відліку, називається *траєкторією*.

ЦІКАВІ ФАКТИ



Клавдій Птолемей



Ніколай Копернік

Колись учені вважали, що зорі, Сонце і планети рухаються навколо Землі як навколо центру Всесвіту. Використання системи відліку відносно Землі тривалий час задовольняло людство. У цій системі можна з високою точністю досліджувати різноманітні рухи тіл навколишнього світу. Так виникла система світу, яка отримала назву геоцентричної (від грецького *гея* — Земля).

Геоцентрична система світу (її ще називають Птолемеєвою — за ім'ям видатного давньогрецького філософа і вченого Клавдія Птолемея (II ст. н. е.)), котрий у своєму трактаті «Велика побудова» докладно описав геоцентричну систему, за якою навколо нерухомої Землі рухаються Місяць, Меркурій, Венера, Сонце, Марс, Юпітер, Сатурн. Ця система панувала протягом античних часів і середньовіччя без суттєвих змін й офіційно визнавалася єдиною правильною системою світобудови. Хоч вона мала суттєві недоліки, проте була важливим кроком у розвитку природознавства, фізики, астрономії.

У XV ст. польський учений Ніколай Копернік (1473—1543) у трактаті «Про обертання небесних сфер» описав іншу систему світу — геліоцентричну (від латинського *Геліос* — Сонце). У цій системі нерухомим є Сонце, навколо якого обертаються планети, що можуть мати супутники, як Земля, наприклад, має Місяць.

Ще кілька століть після відкриття геліоцентричної системи світу вона офіційно не визнавалася, оскільки порушувала усталені уявлення про світобудову. У Середньовіччі користувалися системою світу Птолемея. Варто зазначити, що Києво-Могилянська академія в Києві стала одним із перших європейських вищих навчальних закладів, де в XVII—XVIII ст. викладачі ознайомили студентів із геліоцентричною системою світу Коперніка.

Введення геліоцентричної системи світу поклало початок революції у природознавстві й становленні наукового світогляду.

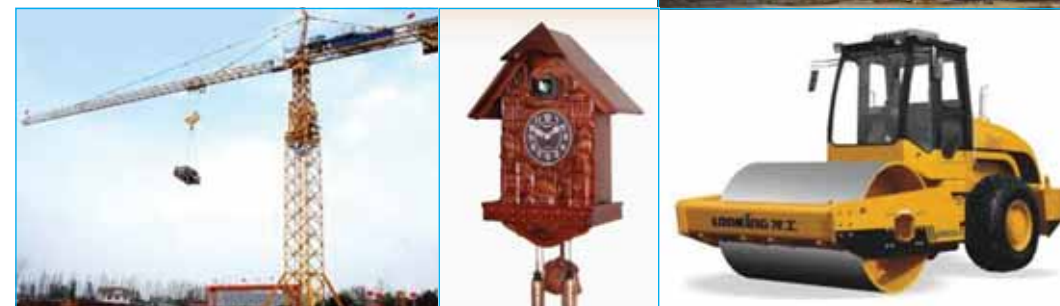
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАЙ

? Дайте відповідь на запитання

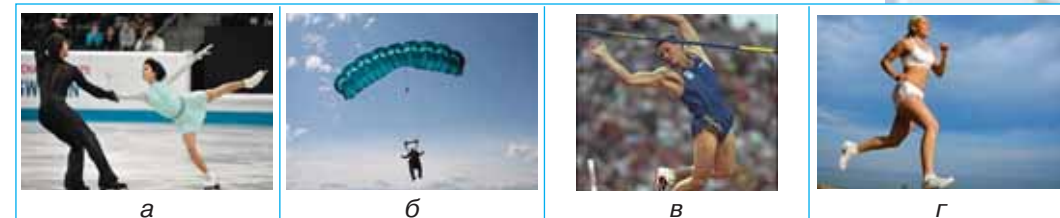
1. Який рух називають поступальним; обертальним? Наведіть приклади таких рухів.
2. Що таке матеріальна точка? Коли тіло вважають матеріальною точкою?
3. Що таке траєкторія? Які бувають механічні рухи за формою траєкторії?

?! Поясніть

1. Уважно розгляньте малюнок 38. Укажіть тіла (частини тіл), які здійснюють: а) поступальний рух; б) обертальний рух.
2. Коли можна вважати матеріальною точкою: спортсмена, автомобіль, потяг, літак, Місяць? У яких випадках вказані тіла не можна вважати матеріальною точкою?
3. Уважно розгляньте малюнки 39 (а—г). У яких випадках спортсменів можна вважати матеріальною точкою?



Мал. 38. Приклади поступального й обертального рухів тіл



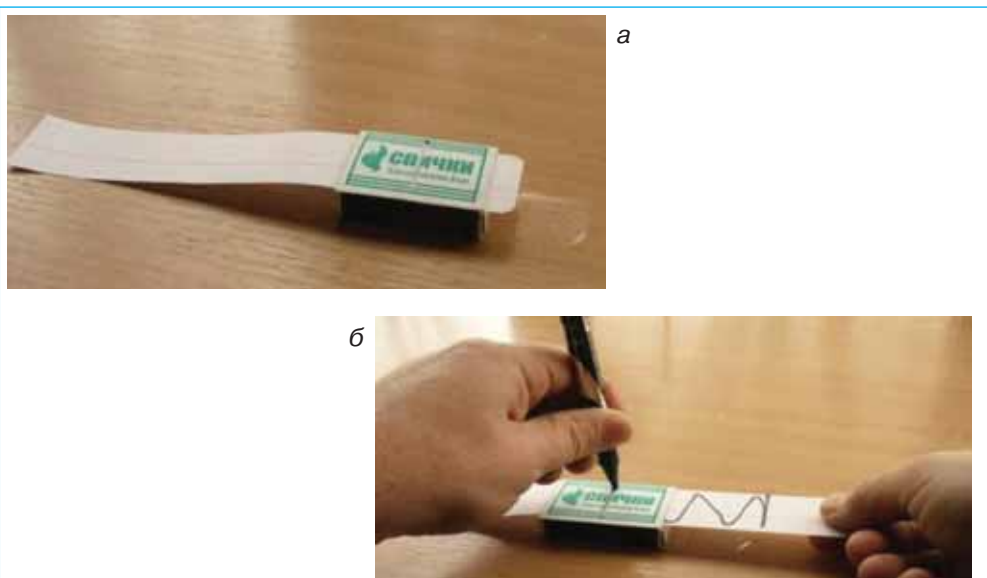
Мал. 39. Приклади механічного руху тіл:

- а — виконання складних елементів під час фігурного катання;
 б — тривалий стрибок з парашутом; в — стрибок через перекладину;
 г — марафонський забіг

Проведіть дослід, що ілюструє відносність траєкторії. Для цього вам знадобляться: сірникова коробка, клейка стрічка, паперова стрічка, фломастер, ніж для паперу, лінійка.

За допомогою лінійки та ножа проріжте на верхній частині сірничкової коробки щілину завширшки 1—2 мм. Зафіксуйте сірничкову коробку на столі клейкою стрічкою. Виріжте паперову стрічку так, щоб її ширина відповідала ширині коробки.

Висуньте із сірничкової коробки внутрішню коробочку. Переверніть її догори дном. Покладіть на неї стрічку паперу і вставте їх разом у сірничкову коробку (мал. 40, а).



Мал. 40. Дослід, що ілюструє відносність траєкторії:
а — пристрій для побудови траєкторії;
б — вигляд траєкторії на нерухомій і рухомій стрічці

Рухайте фломастером уздовж щілини вгору—вниз і одночасно протягуйте паперову стрічку. Розгляньте отриману траєкторію руху фломастера відносно паперу (мал. 40, б). У яких відомих вам приладах застосовується подібний прийом?

§ 8. ШЛЯХ. ПЕРЕМІЩЕННЯ

► Ви дізнаєтесь

Що таке шлях і переміщення
Які фізичні величини називають скалярними, а які — векторними

► Пригадайте

Що називають траєкторією
Коли рух тіла можна описувати як рух точки
Які бувають види механічного руху

ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ. Траєкторія тіла характеризується не лише формою, а й довжиною. Довжину траєкторії, яку проходить тіло за час руху, називають пройденим шляхом.

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

Шлях позначають малою латинською літерою l^* , одиницею шляху в СІ є метр (1 м).

На практиці застосовують також інші одиниці шляху:

$$\begin{aligned} 1 \text{ мм} &= 0,001 \text{ м}; \\ 1 \text{ см} &= 0,01 \text{ м} = 10 \text{ мм}; \\ 1 \text{ дм} &= 10 \text{ см} = 100 \text{ мм}; \\ 1 \text{ км} &= 1000 \text{ м}. \end{aligned}$$

Якщо відомо, де розташоване тіло на початку руху, його траєкторію і пройдений шлях, то можна визначити, де буде тіло в кінці руху. Коли траєкторія руху невідома і не важливо, якою саме траєкторією рухається тіло, а треба вміти визначити зміну положення тіла у просторі з плином часу, тоді користуються поняттям *переміщення*. Для цього сполучають відрізок прямої початок руху тіла з його положенням у певний момент часу. Тоді зміну положення тіла в цьому напрямі називають *переміщенням*.

Переміщення — фізична величина, що характеризує зміну положення тіла у просторі та визначається напрямленим відрізком, який сполучає положення рухомого тіла на початку і в кінці певного інтервалу часу.

ПРИКЛАД. Щоб дістатись із Києва до Донецька автомобілем, водію доводиться їхати звивистою дорогою (червона лінія на малюнку 41). Пройдений при цьому шлях — це довжина дороги l (траєкторії).

Разом з тим, водій здійснив переміщення із точки A в точку B , яке можна показати, з'єднавши початкове і кінце-

* У науковій і навчальній літературі шлях інколи позначають малою латинською літерою s .



Мал. 41. Траєкторія, шлях, переміщення

ве положення тіла в просторі прямою лінією і позначивши напрям руху (зелена лінія на мал. 43). Щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу, досить знати його положення увпочатковий момент і переміщення. Переміщення є прикладом *векторної фізичної величини*.

СКАЛЯРНІ ТА ВЕКТОРНІ ВЕЛИЧИНИ. Вивчаючи математику і фізику, до цих пір ви стикалися з величинами, які характеризуються лише числовим значенням: шлях, площа, довжина, об'єм, час тощо. Такі величини називають *скалярними*.

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

Скалярні величини, зазвичай, як в алгебрі, позначають малими і великими латинськими літерами: l , t , V .

Багато фізичних величин, подібно до переміщення, окрім свого числового значення, ще вказують її напрям у просторі. Переміщення, а також *швидкість, сила* — величини *векторні*.

Векторна величина, або вектор (від лат. *vector* — несучий, перевізник), у фізиці — величина, яка, окрім числового значення, має ще й напрям.

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

Вектор графічно зображають напрямленим відрізком (стрілкою), довжина якого пропорційна його числовому значенню — модулю. Перед побудовою вектора обирають одиницю довжини в певному масштабі, а потім відкладають потрібну кількість одиниць. Так, на малюнку 42 зображено вектор завдовжки 9 см.

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

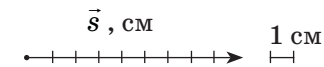
Вектор переміщення позначають малою латинською літерою s зі стрілочкою — \vec{s} , довжина вектора переміщення, або його модуль, при цьому позначатиметься просто літерою s .

Одиницею переміщення є **метр (1 м)**.

Тепер можна дати ще одне визначення переміщення:

Переміщення \vec{s} — це вектор, що сполучає початкове положення тіла з його положенням у вибраний момент часу.

Шлях і переміщення є характеристиками руху тіла, вони мають однакові одиниці, але це різні фізичні величини. Якщо траєкторія криволінійна, модуль переміщення менший від пройденого тілом шляху, бо відрізок прямої коротший за будь-яку криву, що з'єднує кінці відрізка. У разі прямолінійного руху, за умови, що тіло не змінювало напрям руху, модуль переміщення і шлях дорівнюють одне одному. Якщо тіло повертається у вихідне положення (наприклад, воно зробило повний оберт по колу), то початкове та кінцеве положення тіла співпадають і модуль переміщення дорівнює нулю. Якщо, наприклад, тіло здійснило два повних оберти, то пройдений шлях дорівнюватиме двом довжинам кола, а переміщення — нулю. Тобто переміщення може дорівнювати нулю навіть тоді, коли тіло рухалося.



Мал. 42.

Графічне зображення вектора; одна поділка дорівнює 1 см

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Зміну положення тіла можна визначити за пройденим шляхом по певній траєкторії або за переміщенням. Шлях — величина скалярна, переміщення — векторна.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що таке шлях? Як його позначають і яка його одиниця?
2. Що таке переміщення? Як його позначають і яка його одиниця?
3. Які величини називають скалярними, а які — векторними?

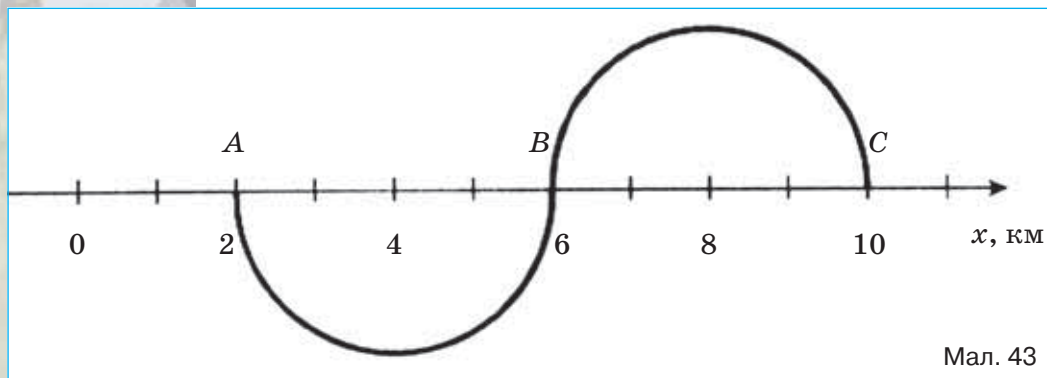


Поясніть

1. У яких випадках застосовують фізичну величину — переміщення?
2. Що спільного і що відмінного між пройденим шляхом і переміщенням тіла? Наведіть приклади.
3. У якому з випадків шлях дорівнює модулю переміщення тіла?
 - А. Яблуко відірвалось з гілки і падає на землю
 - Б. М'яч після подачі волейболіста перелітає через сітку
 - В. Супутник здійснив оберт навколо Землі

Вправа 4

1. Тіло здійснює рух уздовж сторін квадрата, сторона якого 20 см. Визначте шлях і переміщення тіла, якщо: а) тіло пройшло вздовж однієї сторони; б) двох сторін; в) трьох сторін; г) чотирьох сторін.
2. На малюнку 43 зображено траєкторію руху тіла, що почало рухатись із точки А. Визначте: а) координату початкового положення тіла; б) координату кінцевого положення тіла; в) зміну координати внаслідок руху тіла; г) шлях, пройдений тілом; д) модуль і напрямок переміщення тіла.



Мал. 43

3. Спортсмен відбив м'яч вертикально вгору, коли той перебував на відстані 0,5 м від підлоги, а спіймав його на висоті 1,9 м. Який шлях і яке переміщення м'яча, якщо під час польоту він піднімався на максимальну висоту 3 м?
4. Тіло перемістилося з точки, координати якої $x_1 = 0$ м, $y_1 = 2$ м, у точку з координатами $x_2 = 4$ м, $y_2 = -1$ м. Зробіть побудову на координатній площині та визначте модуль переміщення.

ФІЗИКА НАВКОЛО НАС



Дорожнє колесо — це, мабуть, одне з перших вимірювальних пристосувань, відомих людству. Важко сказати, коли саме для вимірювання відстані стали застосовувати дорожнє колесо, однак і сьогодні, незважаючи на розвиток сучасних технологій, дорожнє колесо продовжує користуватися великим попитом (мал. 44). Діаметр колеса дорівнює 31,83 см, тоді, здійснивши один оберт, дорожнє колесо проходить шлях 1 м. Дорожні колеса застосовуються для вимірювання відстаней у таких місцях, де традиційні вимірювальні прилади не справляються зі своїм завданням. Якщо використання звичайних мірних стрічок, далекомірів або рулеток неможливе з тих чи інших причин, на допомогу приходять дорожні вимірювальні колеса, як їх ще називають, дорожні курвіметри.



Мал. 44.
Дорожнє колесо

Курвіметр (від лат. *curvus* — кривий і грец. метрон — міра, вимірювач) — прилад для вимірювання довжини кривих ліній на планах і картах (мал. 45).

Знизу курвіметра міститься зубчате коліщатко, яким прокочують по лінії, тримаючи прилад перпендикулярно до площини карти. Обертання коліщатка передається через зубчасту передачу лічильному механізмові, що показує виміряну довжину дуги. Далі, користуючись масштабом карти, визначають пройдену відстань.

Подивіться на малюнок 46. Що він вам нагадує? Так, такий вигляд мала перша комп'ютерна миша, її винахідником став у 1964 р. Дуглас Карл Енгельбарт.



Мал. 45.
Курвіметр



Мал. 46. «Нащадок» курвіметра — комп'ютерна миша, праворуч — її винахідник

§ 9. РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. ШВИДКІСТЬ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ

► Ви дізнаєтесь

Який рух називають рівномірним. Що таке швидкість рівномірного руху. Одиниці швидкості. Як визначають швидкість під час рівномірного руху

► Пригадайте

Що називають пройденим шляхом; переміщенням. Які їх одиниці?

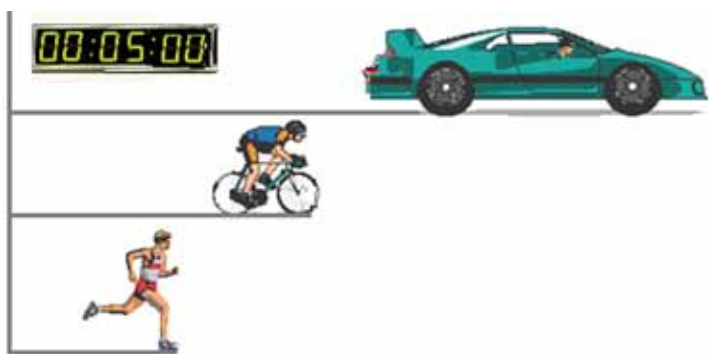
РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. Якщо траєкторія руху тіла — пряма лінія, то такий рух називають *прямолінійним*. Якщо тіло за будь-які однакові інтервали часу проходить однакові шляхи, то такий рух називають *рівномірним*.

Прикладом рівномірного руху, що спостерігається у природі, є рух точки земної поверхні під час добового обертання Землі, кінець стрілки годинника по циферблату. Рівномірний прямолінійний рух у природі трапляється досить рідко, прикладом такого руху можна вважати рух ескалатора метро, рух потягу на довгому й рівному відрізку залізниці.

Рівномірний прямолінійний рух — це рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу проходить однакові відстані уздовж прямої лінії.

ШВИДКІСТЬ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ.

За один і той самий час різні тіла можуть пройти різні відстані. Наприклад, за 5 хв автомобіль проходить значно більшу відстань, ніж велосипедист, а велосипедист — більшу, ніж пішохід (мал. 47).



Мал. 47. Відстані, що проходять різні тіла за один і той самий час

Відповідно, одну й ту саму відстань автомобіль долає швидше, ніж велосипедист, а велосипедист — швидше, ніж пішохід.

Для порівняння стрімкості руху різних тіл у фізиці використовують характеристики руху, яку називають *швидкістю*.

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

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

Швидкість, як і переміщення, є векторною величиною. У разі прямолінійного руху напрям швидкості співпадає з напрямом переміщення (мал. 48).

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

Щоб визначити модуль швидкості рівномірного прямолінійного руху тіла, треба модуль переміщення або шлях поділити на час t , протягом якого рухалось тіло:

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

Знаючи модуль швидкості руху тіла, можна оцінити, на скільки швидко чи повільно рухається тіло.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю швидкості беруть швидкість такого рівномірного руху, під час якого тіло за 1 с проходить відстань 1 м. Цю одиницю називають *метр за секунду* і позначають 1 м/с.

Разом з тим, на практиці використовуються й інші одиниці, наприклад:

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

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

ШВИДКІСТЬ РУХУ ТІЛА — ВЕЛИЧИНА ВІДНОСНА.

Швидкість механічного руху тіла є відносною величиною. Її значення залежить від вибору тіла відліку, відносно якого визначається швидкість.



Мал. 48. Напрямок вектора швидкості руху тіл



Мал. 49. Відносність швидкості руху

Наприклад, швидкість будинку відносно Землі дорівнює нулю. Проте відносно Сонця будинок рухається разом із Землею з високою швидкістю — 30 км/с.

На малюнку 49 зображено двох школярів. Дівчинка йде вздовж берега озера зі швидкістю 5 км/год, хлопчик — пливе в човні з такою самою швидкістю. Це їхні швидкості відносно землі. Їхня ж відносна швидкість (швидкість хлопчика відносно дівчинки) дорівнює нулю. Подумайте, якою була б відносна швидкість школярів,

якби вони рухалися в протилежних напрямках?



ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

На відміну від відстаней та інтервалів часу, всі можливі у природі швидкості руху тіл вкладаються між двома граничними значеннями: мінімальним, що дорівнює нулю, та максимальним ($3 \cdot 10^8$ м/с) — що дорівнює швидкості світла у вакуумі (у пустоті, тобто у просторі, вільному від речовини).

Характерні значення швидкості руху деяких об'єктів

Об'єкт	Швидкість руху, м/с
Равлик	0,0014
Черепаша	0,05—0,14
Пішохід	1—1,3
Гепард (найшвидший серед тварин)	> 30
Серійний легковий автомобіль (рекорд)	120 (або 430 км/год)
Звук у повітрі при температурі 0°C	≈ 330
Молекули азоту при температурі 0°C	≈ 500
Реактивний літак	700
Місяць — по орбіті навколо Землі	$1 \cdot 10^3$
Штучний супутник Землі	$8 \cdot 10^3$
Земля — по орбіті навколо Сонця	$3 \cdot 10^4$
Світло	$3 \cdot 10^8$

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Рівномірний прямолінійний рух — це рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу проходить однакові відстані уздовж прямої лінії.

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

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Який рух називають рівномірним?
2. Що показує швидкість тіла під час його рівномірного руху?
3. Які одиниці швидкості?



Поясніть

1. Чи є рух тіла рівномірним, якщо тіло за першу секунду від початку спостереження за його рухом проходить 10 м, за кожну половину секунди — 5 м, за кожну п'яту частину секунди — 2 м.
2. Чи можна вважати рух велосипедиста рівномірним, якщо він за перші 5 хв проїхав 5 км, а за наступні 1/6 год — 10 км?
3. Виразіть у м/с: 36 км/год; 36 км/хв; 36 м/хв.
4. Два тіла рухаються рівномірно і прямолінійно. Чим можуть відрізнитись рухи цих тіл?

УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

Одним із важливих показників успішного опанування фізики є вміння **розв'язувати фізичні задачі**. Часто фізичні задачі розв'язують під час вивчення нового матеріалу, виконання домашніх завдань, а також тематичних контрольних робіт, під час складання державної підсумкової атестації та зовнішнього незалежного оцінювання. А головне, *фізичні задачі часто трапляються в життєвих ситуаціях, тому отриманні у школі знання стануть у пригоді в майбутньому!*

Тож добре засвойте правила розв'язування й оформлення задач.

1. Уважно прочитайте умову задачі та з'ясуйте, на яку тему ця задача, тобто про які величини йдеться, які фізичні процеси розглядаються в задачі. Іноді, не звернувши уваги на одне-єдине слово в умові, ви не зможете розв'язати задачу!

2. Запишіть коротко умову в лівому стовпчику під словом *Дано:*, спочатку буквене позначення фізичної величини, потім її числове значення. Зверніть увагу, іноді якісь дані записуються в умові не числом, а словами. Наприклад: за хвилину тіло перемістилось...

Завжди залишайте вільне місце в цій колонці, адже в процесі розв'язання можуть знадобитися додаткові довідкові дані, про які ви навіть не підозрювали спочатку. Записуйте числові значення величин з їхніми одиницями. Це обов'язкова вимога в розв'язуванні задач із фізики!

3. З'ясуйте, що треба визначити в задачі, і запишіть буквене позначення цієї фізичної величини із знаком питання.

4. Не забудьте поруч із короткою умовою виділити стовпчик для переведення одиниць в СІ.

Приклад

Дано:	СІ	Розв'язання
$t = 1$ год	3600 с	
$s = 200$ м		
$v - ?$		

5. Існують завдання, розв'язання яких неможливе без допоміжного малюнка. Наприклад, у задачі на рух тіла треба зобразити координатну вісь, указати напрям руху тіла, його початкове положення. Часто саме малюнок дає змогу розібратися в умові задачі та швидше її розв'язати. Малюнок до задачі на будь-яку тему завжди допоможе вам.

6. А тепер — до запису розв'язання. Пам'ятайте! У фізиці перед розрахунками повинен передувати запис формули, а всі величини мають записуватися разом з їх одиницями.

Приклад

$$v = \frac{s}{t}, v = \frac{200 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 0,06 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

7. Розв'язувати задачу можна двома способами: а) по діях; б) у загальному вигляді, тобто вивести кінцеву формулу, а потім підставляти числові значення величин. Учні 7 класу мають намагатися розв'язувати задачі в загальному вигляді, а для старшокласників — це обов'язково! Якщо вам не вдається розв'язати задачу в загальному вигляді, розв'яжіть по діях, головне — результат! Іноді розв'язання задачі є очевидним, а іноді важко зрозуміти, «з якого кінця» за неї взятися. У цьому разі допомагає «розв'язування з кінця». Подумайте, що вам треба знати для визначення шуканої величини? І розв'яжіть задачу наче у зворотному порядку, вона обов'язково розв'яжеться! Варто обґрунтувати свої дії — записувати короткі пояснення.

8. Обов'язково перевірте числове значення відповіді, щоб упевнитися, що немає помилки в математичних обчисленнях.

9. І, нарешті, запишіть слово *Відповідь* та обчислену величину, не забувши вказати її одиницю.

А тепер до справи!

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Задача 1. З однієї частини міста до іншої маршрутне таксі, рухаючись зі швидкістю 90 км/год (без зупинок), доїжджає за 15 хв. За скільки хвилин цю саму відстань подолає велосипедист, рухаючись зі швидкістю 15 м/с?

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

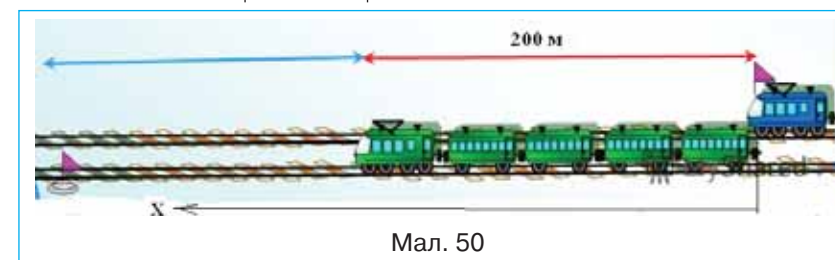
Визначимо час руху велосипедиста:

$$t_2 = \frac{s_2}{v_2}, t_2 = \frac{22500 \text{ м}}{15 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1500 \text{ с} = 25 \text{ хв}.$$

Відповідь: 25 хв.

Задача 2*. Паралельними залізничними коліями йдуть в одному напрямі два потяги: пасажирський — завдовжки 200 м зі швидкістю 180 км/год і товарний — завдовжки 300 м зі швидкістю 108 км/год. Скільки часу пасажирський потяг обганятиме товарний? Відповідь запишіть у секундах.

Дано:	СІ	Розв'язання
$v_1 = 180$ км/год	50 м/с	За тіло відліку приймемо товарний потяг, вісь X спрямуємо в напрямі руху потягів (мал. 50). Вказані в умові значення швидкостей задано відносно нерухомої системи відліку, зв'язаною з поверхнею землі.
$v_2 = 108$ км/год	30 м/с	
$s_1 = 200$ м		
$s_2 = 300$ м		
$t - ?$		



Відносно рухомої системи відліку, зв'язаної з товарним потягом, пасажирський потяг має *відносну швидкість* $v = v_1 - v_2$. Щоб обігнати товарний потяг, пасажирський має

* Задачі підвищеного рівня.

переміститися відносно нього на відстань, що дорівнює сумі довжин потягів. Тоді час обгону

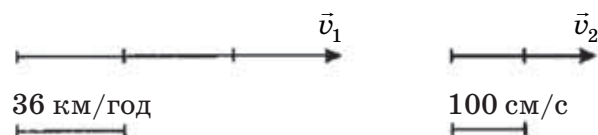
$$t = \frac{s_1 + s_2}{v_1 - v_2},$$

$$t = \frac{500 \text{ м}}{50 \text{ м/с} - 30 \text{ м/с}} = 25 \text{ с.}$$

Відповідь: 25 с.

Вправа 5

- На малюнку 51 зображено вектори швидкостей двох тіл. У якого з тіл швидкість руху більша? У скільки разів?



Мал. 51

- Потяг їде зі швидкістю 180 км/год. Який шлях він долає за 30 хв? Відповідь запишіть у метрах.
- Тіло за 10 хв перемістилось на 15 м. На яку відстань переміститься тіло за 0,5 год?
- Людина йде зі швидкістю 5,4 км/год. Скільки кроків за секунду вона робить? Довжина кроку 75 см.
- На зустріч один одному рухаються мотоцикліст і автомобіль зі швидкостями 30 км/год і 80 км/год відповідно. З якою швидкістю вони зближуються?
- Два автомобілі рухаються зі швидкостями 60 і 40 км/год. Визначте відносну швидкість їхнього руху, якщо вони рухаються: а) в одному напрямку; б) у протилежних напрямках.
- * Два потяги рухаються назустріч один одному зі швидкостями 54 км/год та 72 км/год. Пасажир першого потяга помічає, що другий потяг рухається повз нього протягом 4 с. Яка довжина другого потяга?
- * Швидкість катера у стоячій воді 25 км/год. Швидкість течії річки 5 км/год. Яку віддасть подолає катер за течією річки за 1 год?

§ 10. РІВНЯННЯ РУХУ. ГРАФІКИ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ

► Ви дізнаєтесь

Як графічно досліджувати рівномірний прямолінійний рух

► Пригадайте

Пригадайте, що таке графіки. Які правила їх побудови

РІВНЯННЯ РІВНОМІРНОГО РУХУ. Формула $s = vt$ називається *рівнянням рівномірного руху*. Це рівняння математично виражає залежність пройденого шляху від часу: *пройдений при рівномірному прямолінійному русі шлях прямо пропорційний часові*.

Нехай тіло в момент початку руху перебуває в точці з координатою x_0 (мал. 52); через деякий час t , здійснивши переміщення \bar{s} , воно матиме координату x . З малюнка видно, що числове значення переміщення вздовж осі X дорівнює зміні координат тіла $x - x_0$, тобто $s = x - x_0$.

Враховуючи, що $s = vt$ і вираз $s = x - x_0$, отримуємо: $x = x_0 + vt$ — рівняння, яке також називають *рівнянням руху*, воно характеризує переміщення під час рівномірного прямолінійного руху.

Оскільки ми розглядаємо рух тіл, які в початковий момент часу можуть перебувати в довільному місці та можуть рухатись у довільному напрямку з довільною швидкістю, то рівняння руху для кожного тіла матиме свій вигляд.

Розглянемо **приклад** (мал. 53).

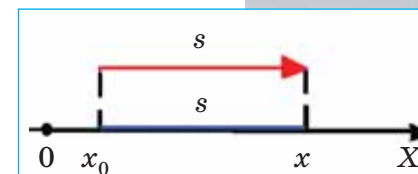
З малюнка видно, що автобус і легковий автомобіль рухаються назустріч один одному. Швидкість автобуса 36 км/год, а швидкість автомобіля — 72 км/год. Виразимо ці швидкості в м/с:

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

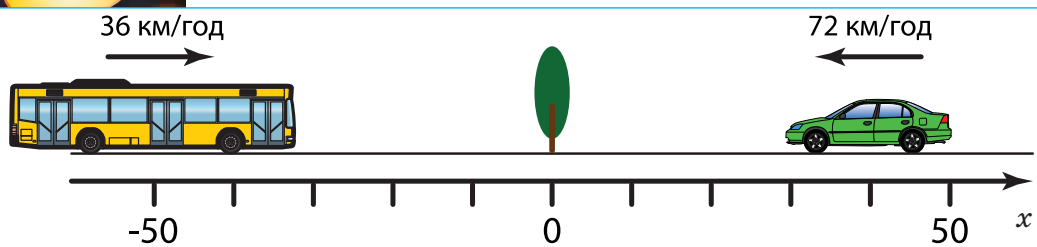
$$\text{швидкість автомобіля } 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 72 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$



Мал. 53. Початкове положення тіл



Мал. 52. Зміна координати тіла під час руху



Мал. 54. Дослідження руху тіл у вибраній системі відліку

У момент спостереження вони перебувають на певній відстані один від одного.

Оберемо систему відліку, у якій будемо досліджувати рух тіл (мал. 54):

- спрямуємо координатну вісь у напрямі руху автобуса;
- початок координат пов'язуємо з тілом відліку, відносно якого досліджуємо рух (наприклад, з деревом, що стоїть обабіч дороги).

Початкова координата для автобуса дорівнює -50 м, а для автомобіля 40 м.

Запишемо рівняння руху тіл. Складаючи рівняння руху, звертаємо увагу на початкову координату тіла та напрям швидкості руху, що визначатиме знаки «+» та «-» у рівнянні руху, і той факт, що всі величини, які входять до рівняння, мають бути виражені в належних одиницях.

Для автобуса $x_1 = -50 + 10t$ (м);

$x_2 = 40 - 20t$ (м).

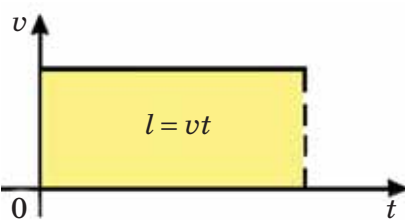
ГРАФІКИ РІВНОМІРНОГО ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ.

Для побудови графіків на горизонтальній осі (абсцис) відкладають час, а на вертикальній осі (ординат) — пройдений шлях, модуль переміщення або модуль швидкості руху тіла.

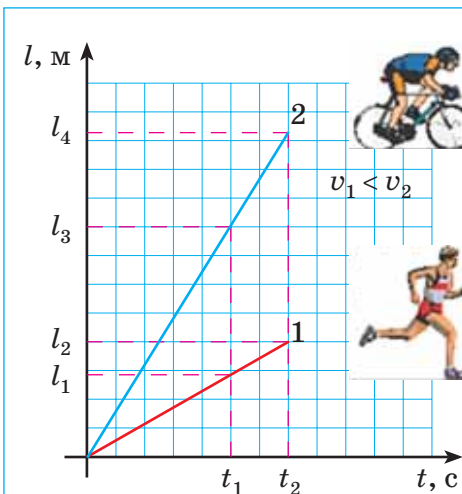
Як відомо, швидкість тіла під час рівномірного прямолінійного руху з часом не змінюється. Тому графік швидкості руху тіла — це пряма, паралельна осі часу t (мал. 55).

Пройдений тілом шлях графічно визначається, як площа прямокутника, обмеженого лінією графіка швидкості та перпендикуляром, опущеним на вісь часу t в точку, яка відповідає часу руху (мал. 55).

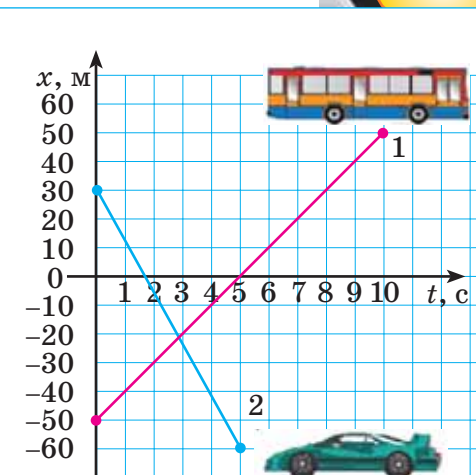
Як видно з формули $l = vt$, між пройденим шляхом і часом існує прямо пропорційна залежність, яка графічно зображується прямою, що проходить через початок координат і розташована в першій чверті



Мал. 55. Графік швидкості



Мал. 56. Графік шляху



Мал. 57. Графіки руху автобуса й автомобіля

координатної площини. Залежно від значення швидкості, нахил ліній буде різним: чим більша швидкість, тим крутіше здійснюється графік (мал. 56).

Вираз $x = x_0 + vt$ характеризує переміщення в рівномірному прямолінійному русі. Графіком цієї функції, як й у випадку залежності шляху від часу, також є пряма, але її розташування залежить від того, де перебуває тіло на початок спостереження, і куди спрямована швидкість руху тіла.

Звернемось до розглядуваного прикладу: рівняння руху для автобуса $x_1 = -50 + 10t$ (м); для автомобіля $x_2 = 40 - 20t$ (м). Щоб побудувати відповідні графіки руху, застосуємо знання з математики. Підставлятимемо в рівняння довільні значення часу t в секундах і визначатимемо відповідні значення координати тіла. Як відомо, для побудови прямої достатньо двох пар значень.

Для автобуса

$t, \text{с}$	0	10
$x, \text{м}$	-50	50

Для автомобіля

$t, \text{с}$	0	5
$x, \text{м}$	40	-60

Будуємо графіки (мал. 57).

Проаналізуємо отримані графіки. Графік 1 спрямований вгору, це свідчить про те, що напрям руху автобуса (тобто напрям швидкості його руху) співпадає з вибраним напрям-

мом осі координат. Цей графік перетинає вісь часу в точці 5. Це означає, що через 5 с від початку руху автобус перебував біля тіла відліку — дерева (на початку координат).

Оскільки автомобіль рухається у протилежному до осі X напрямі, то графік його руху спрямований вниз. Біля тіла відліку (дерева) автомобіль буде проїжджати через 2 с.

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

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Графіки рівномірного прямолінійного руху відображають залежності відповідних параметрів руху (переміщення, пройденого шляху і швидкості) від часу. За їх допомогою можна з'ясувати характер руху тіла і зміни відповідних величин із плином часу.

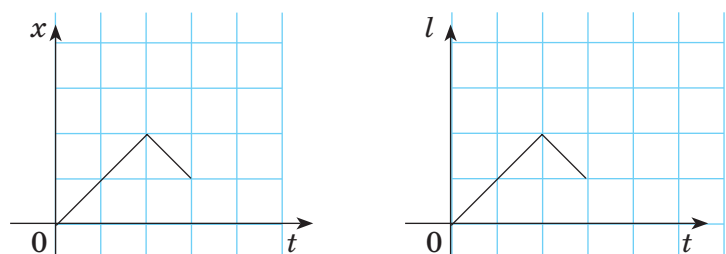
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Як записується рівняння рівномірного прямолінійного руху тіла? Що воно виражає?
2. Який вигляд має графік залежності швидкості рівномірного руху тіла від часу?
3. Який вигляд має графік залежності пройденого шляху від часу при рівномірному русі?

Поясніть

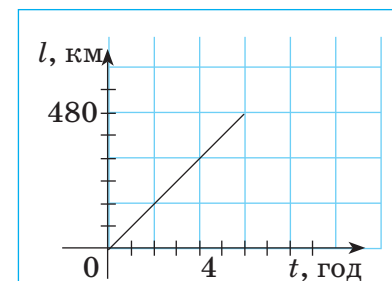
1. Як записується модуль переміщення тіла через швидкість та час.
2. У чому різниця між траєкторією тіла та графіком його руху.
3. На малюнку 58 зображено графіки залежності координати і пройденого шляху від часу для двох випадків руху. Поясніть, у якому з графіків допущено помилку.



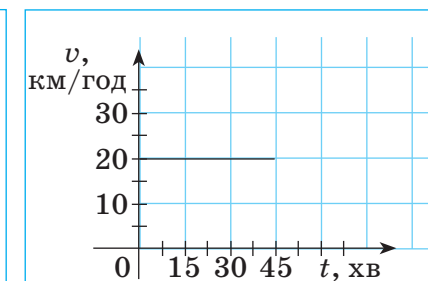
Мал. 58

Вправа 6

1. Мотоцикліст їде зі сталою швидкістю 60 км/год протягом 20 хв. Побудуйте графіки залежності $v(t)$, $l(t)$.
2. На малюнку 59 зображено графік залежності $l(t)$ для легкового автомобіля. Визначте швидкість руху автомобіля.

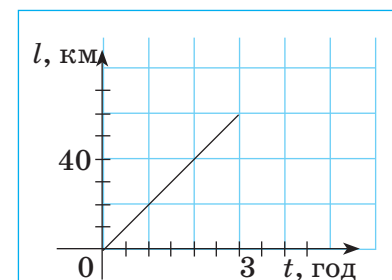


Мал. 59

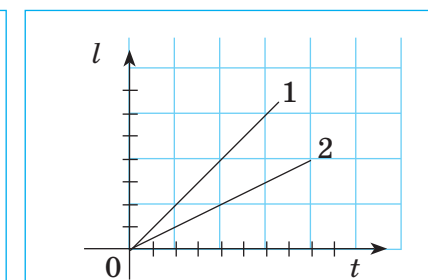


Мал. 60

3. На малюнку 60 зображено графік залежності $v(t)$ для велосипедиста. Визначте шлях, пройдений велосипедистом за 45 хв. Побудуйте графік залежності пройденого шляху від часу.
4. Користуючись графіком залежності пройденого шляху від часу (мал. 61), побудуйте графік залежності швидкості від часу.

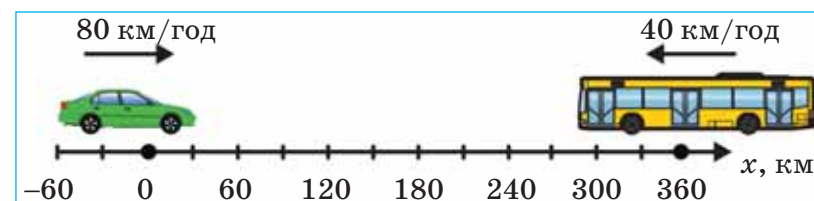


Мал. 61



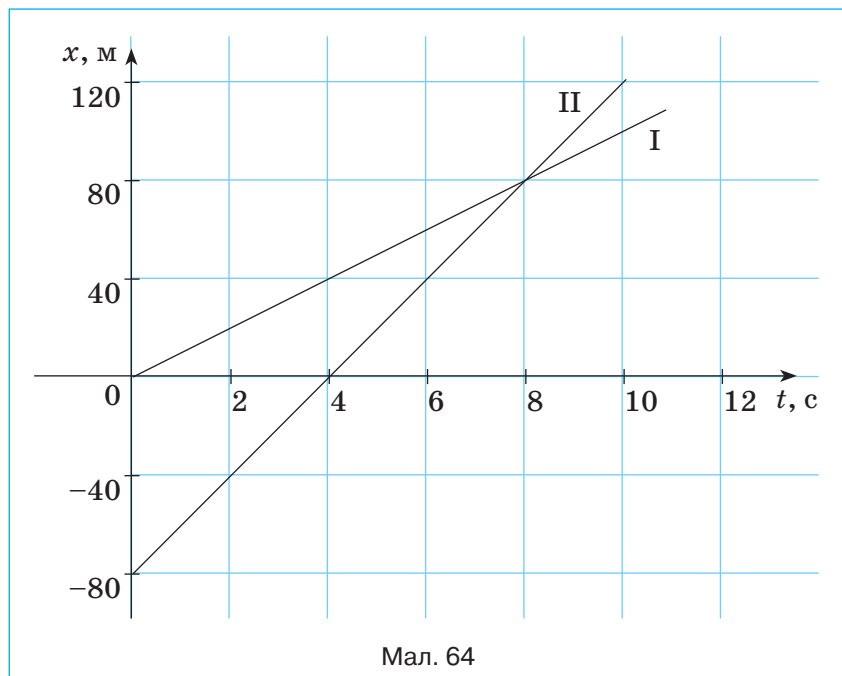
Мал. 62

5. На малюнку 62 зображено графіки залежності пройденого шляху від часу для двох тіл. У якого з тіл швидкість руху більша? У скільки разів?
- 6*. На малюнку 63 зображено положення двох тіл у момент початку спостереження. Запишіть рівняння руху тіл. Визначте: а) час і місце зустрічі тіл; б) шляхи, пройдені тілами до моменту зустрічі. Побудуйте графіки залежності $v(t)$, $l(t)$, $x(t)$ для кожного з тіл.



Мал. 63. Знайти кінематичні характеристики

7*. На малюнку 64 зображено графіки залежності координати тіла від часу. Визначте: а) відстань між тілами в момент початку спостереження; б) час і координату зустрічі тіл; в) швидкості руху тіл; г) шляхи, пройдені тілами до моменту зустрічі; д) відстань між тілами через 10 с від початку спостереження.



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

§ 11. НЕРІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

► Ви дізнаєтесь

Який рух називається нерівномірним
Як визначити середню швидкість нерівномірного руху

► Пригадайте

Який рух називають рівномірним
Що таке швидкість рівномірного руху. Одиниці швидкості
Як визначають швидкість під час рівномірного руху

СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ. У реальному житті найчастіше трапляється нерівномірний рух, коли тіло за рівні інтервали часу здійснює різні переміщення.

Розглянемо приклад. Нехай автомобіль, рухаючись прямолінійно, за 1 год проїхав 60 км. Отже, швидкість його руху — 60 км/год. Але автомобіль протягом цієї години міг гальмувати перед світлофорами, зупинятись і знову набирати швидкість (мал. 65).



Тому не можна знати, якою була його швидкість, наприклад, через 10 хв від початку руху, і яку відстань він пройшов за ці 10 хв.

Для опису нерівномірного руху користуються поняттям *середньої швидкості*.

Середня швидкість проходження шляху (або просто середня швидкість) визначається відношенням пройденого шляху до інтервалу часу руху тіла:

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

де l_1, l_2, \dots — ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу t_1, t_2, \dots .

Що ж визначає середня швидкість прямолінійного нерівномірного руху?

Середня швидкість характеризує рух тіла на певній ділянці траєкторії за *весь час*. Якою була швидкість руху тіла в певній точці траєкторії в певний момент часу — невідомо.

МИТТЄВА ШВИДКІСТЬ. Щоб знати швидкість руху тіла в певний момент часу в певній точці траєкторії, застосовують поняття *миттєвої швидкості*.

Миттєва швидкість визначає напрям і значення швидкості нерівномірного руху в даній точці траєкторії.

Саме миттєву швидкість фіксує спідометр автомобіля.

Про миттєву швидкість можна було говорити й у випадку рівномірного руху. Миттєва швидкість рівномірного руху в будь-якій точці й у будь-який час однакова.

Миттєва швидкість нерівномірного руху в різних точках траєкторії й у різні моменти часу — різна.

ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ ШЛЯХУ І ШВИДКОСТІ РУХУ ТІЛА ВІД ЧАСУ ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ РУСІ. На відміну від графіків прямолінійного рівномірного руху, графіки

залежності шляху і швидкості руху тіла від часу при нерівномірному русі можуть мати різний вигляд у кожному конкретному випадку.

Розглянемо приклад. На малюнку 66 зображено графік залежності шляху від часу для велосипедиста. Охарактеризуємо характер його руху.

Як видно з графіка, протягом першої години велосипедист подолав відстань 10 км. Таким чином, швидкість його руху 10 км/год.

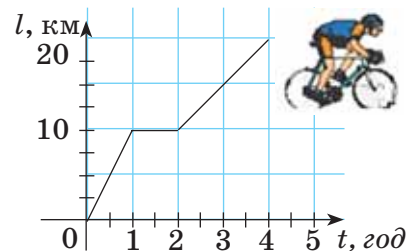
Протягом другої години пройдений шлях не змінювався — велосипедист не рухався.

Протягом наступних двох годин (від 2 до 4 год) він проїхав ще 10 км. Отже, швидкість його руху на цій ділянці 5 км/год.

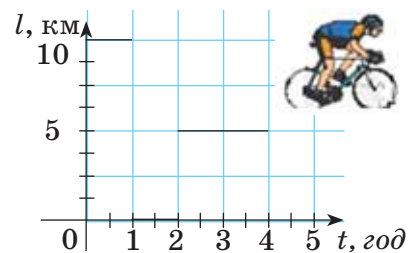
Середня швидкість на всьому шляху

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

Відповідний графік залежності швидкості руху велосипедиста від часу складається з трьох частин (мал. 67).



Мал. 66. Графік залежності шляху від часу при нерівномірному русі



Мал. 67. Графік залежності швидкості руху від часу при нерівномірному русі

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Для опису нерівномірного руху користуються поняттями середньої та миттєвої швидкості.

Середня швидкість показує, з якою швидкістю має рухатись тіло рівномірно, щоб дану відстань подолати за такий самий час, як і під час нерівномірного руху.

Миттєва швидкість — визначає напрям і значення швидкості нерівномірного руху в даній точці траєкторії.

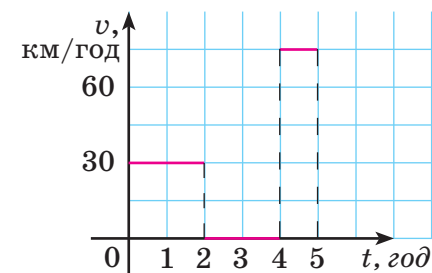
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Який рух називають нерівномірним? Наведіть приклади нерівномірного руху.
2. Як визначають середню швидкість нерівномірного руху?
3. У яких випадках застосовують поняття середньої та миттєвої швидкості руху тіла?

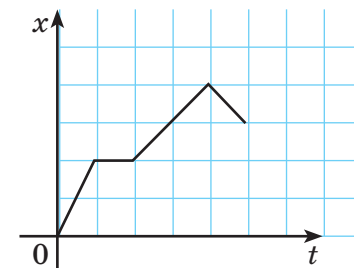
Поясніть

1. На малюнку 68 зображено графік залежності швидкості руху тіла від часу. Поясніть, як рухалося тіло.



Мал. 68. Поясніть, як рухалося тіло

2. На малюнку 69 зображено графік залежності координати тіла від часу. Поясніть характер руху тіла. Який вигляд матиме графік залежності пройденого шляху від часу в цьому випадку. У чому відмінність між цими графіками?

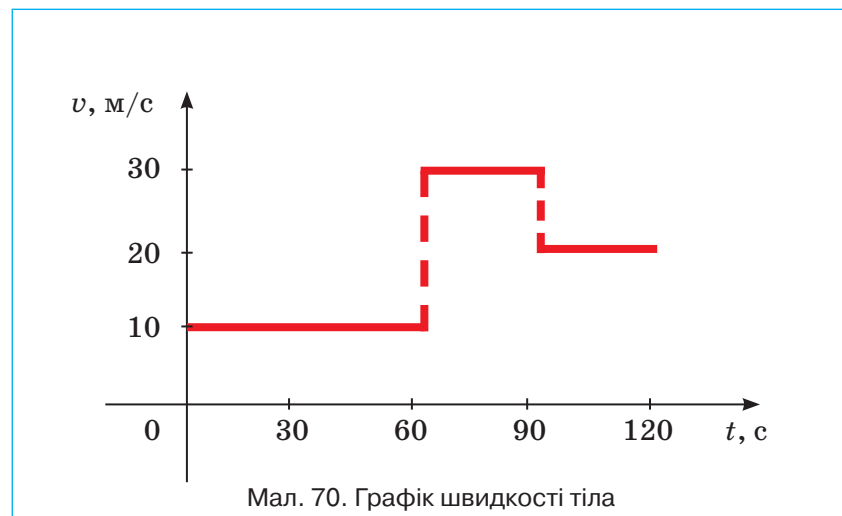


Мал. 69. Графік залежності координати тіла від часу

3. Під час руху автомобіля щохвилини фіксували покази спідометра. Чи можна за цими даними визначити середню швидкість руху автомобіля?

Вправа 7

- Турист рухався зі швидкістю 4 м/с і пройшов шлях 100 м. Наступні 1,2 км він рухався зі швидкістю 2 м/с. Визначте середню швидкість руху туриста. Побудуйте графіки $v(t)$, $l(t)$.
- Автомобіль їхав 1 год зі швидкістю 80 км/год, півгодини стояв і продовжував рухатися ще 2 год з тією ж швидкістю, що була на початку руху. Визначте середню швидкість руху автомобіля. Побудуйте графіки $v(t)$, $l(t)$.
- Одне тіло проходить відстань 240 км із швидкістю 80 км/год, а в зворотному напрямі — зі швидкістю 40 км/год. Інше тіло ту саму відстань в обидва кінці проходить із сталою швидкістю 60 км/год. Чи однаковий час витрачають обидва тіла на шлях туди і назад?
- На малюнку 70 зображено графік залежності швидкості руху тіла від часу.



- Визначте середню швидкість руху тіла. Який шлях пройшло тіло за 90 с? Побудуйте графік залежності шляху від часу.

§ 12. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ

► Ви дізнаєтесь

Якими фізичними величинами описують рівномірний рух матеріальної точки по колу

► Пригадайте

Який рух називають прямолінійним рівномірним
Який рух називають обертальним

НАПРЯМ ШВИДКОСТІ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПІД ЧАС РУХУ ПО КОЛУ. Розглянемо особливості криволінійного руху. І почнемо з найпростішого випадку — рівномірного руху матеріальної точки по колу. Прикладами такого руху можуть слугувати: рух супутників по колових орбітах (мал. 71, а), рух планет навколо Сонця, рух Місяця навколо Землі, рух будь-якої точки на тілі, що рівномірно обертається (мал. 71, б).



а



б

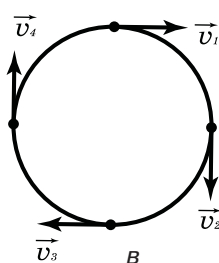
Мал. 71. Рухи по колу

Рух матеріальної точки коловою траєкторією зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямком, називають *рівномірним рухом по колу*.

Те, що швидкість під час руху по колу постійно змінює свій напрям, переконаємось на дослідах. Вам, очевидно, доводилось бачити, як заточують інструменти на шліфувальному диску, або як ріжуть метал (мал. 72, а).

Кожна іскра — це розжарена частинка, яка відірвалася від диска і летить із такою самою швидкістю, яку вона мала в останній момент руху разом із диском.

Політ бризок від колеса автотранспорту, що буксує (мал. 72, б), переконують у тому, що швидкість матеріальної точки під час руху по колу спрямована по дотичній (мал. 72, в).



Мал. 72. Під час руху матеріальної точки по колу її швидкість напрямлена вздовж дотичної

ПЕРІОД І ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ. Рівномірний рух по колу характеризується специфічними величинами.

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

Одиниця періоду — секунда (1 с).

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

Обертова частота (n) — кількість обертів за одиницю часу.

Щоб визначити обертову частоту матеріальної точки, треба кількість зроблених обертів N , які вона здійснила за час t , поділити на цей час: $n = \frac{N}{t}$.

Одиниця обертової частоти в СІ є одиниця, поділена на секунду ($1 \frac{1}{\text{с}} = 1 \text{ с}^{-1}$).

$1 \frac{1}{\text{с}}$ — це частота обертання, під час якого за 1 с матеріальна точка здійснює 1 повний оберт, рухаючись рівномірно по колу. У техніці таку одиницю ще називають обертом за секунду ($1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$) або обертом за хвилину $1 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

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

ЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПІД ЧАС РУХУ ПО КОЛУ. Як напрямлена швидкість матеріальної точки під час руху по колу, ви вже з'ясували. З'ясуємо, як визначати її значення.

Очевидно, що за період T матеріальна точка проходить шлях, що дорівнює довжині кола $l = 2\pi r$, тоді швидкість її рівномірного руху визначається: $v = \frac{2\pi r}{T}$ або $v = 2\pi r \cdot n$.

Швидкість рівномірного руху по колу ще називають лінійною швидкістю.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Рух матеріальної точки коловою траєкторією зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом, називають рівномірним рухом по колу. Лінійна швидкість руху тіла по колу направлена по дотичній до даної точки кола, де розглядається рух тіла.

Рівномірний рух по колу характеризується специфічними величинами: періодом і частотою обертання.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Чим відрізняються прямолінійні і криволінійні рухи?
2. Що таке період і частота обертання? Який зв'язок між ними?
3. Який рух називають рівномірним рухом по колу?
4. Який напрям має лінійна швидкість матеріальної точки, що рухається по колу? Як визначають її значення?

Поясніть

1. Вам доводилось бачити, як під час руху велосипеда верхні спиці колеса здаються злитими, у той час як нижні чітко видно по одній. Поясніть, чому так відбувається.
2. За якими ознаками відрізняються нерівномірний прямолінійний рух і рівномірний рух по колу?

Вправа 8

1. Чому дорівнює період обертання годинної стрілки; хвилинної; секундної?
2. Який приблизно період обертання Землі навколо Сонця?
3. Період обертання збільшився в 3 рази. Як змінилась обертова частота?
4. У скільки разів обертова частота хвилинної стрілки годинника більша, ніж частота годинної стрілки?
5. Під час запису інформації компакт-диск здійснює один оберт за 0,01 с. Визначте обертову частоту компакт-диска.
6. Яку частину повного оберту здійснює за 15 с секундна стрілка?
7. Секундна стрілка годинника в 1,5 раза довша за хвилинну. У скільки разів швидкість руху кінця секундної стрілки більша від швидкості руху кінця хвилинної стрілки?

8. У скільки разів відрізняються швидкості руху точок диску, які розташовані на відстанях 1,5 і 4,5 см від осі обертання?
9. Місяць рухається навколо Землі майже коловою орбітою радіусом 384 000 км протягом 27,3 доби. Визначте швидкість руху Місяця навколо Землі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ОБЕРТАННЯ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ПО КОЛУ

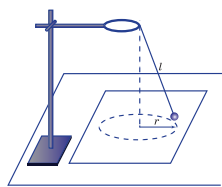
- **Мета роботи:** ознайомитися з величинами, що характеризують рух тіла по колу.
- **Обладнання:** кулька, підвішена на нитці; штатив з кільцем і муфтами, секундомір або годинник із секундною стрілкою, вимірювальна стрічка, аркуш паперу з накресленим колом (радіус 15 см).

Вказівки щодо виконання роботи

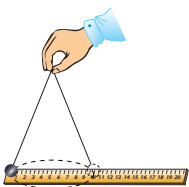
1. Прив'яжіть нитку завдовжки близько 45 см до кульки й підвісьте до кільця штатива (мал. 73).
2. Приведіть кульку в обертання по колу радіусом r , яке намальовано на аркуші паперу.
3. Виміряйте час t , наприклад, 15 обертів кульки. Дослід повторіть п'ять разів.
4. Обчисліть період T обертання кульки.
5. Обчисліть середнє значення лінійної швидкості руху кульки.
6. Зробіть висновки.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення досліджень вам потрібно буде взяти лінійку та кульку, прив'язану до нитки завдовжки 20 см. Тримавши за кінець нитки, обертайте кульку над лінійкою так, щоб кулька описувала коло радіусом, наприклад, 5 см (мал. 74). Виміряйте час, наприклад, 30 повних обертів. Визначте період обертання кульки. Чи зміниться період обертання, якщо рахувати час не 30, а, наприклад, 60 повних обертів? Чи зміниться період обертання, якщо радіус обертання кульки зменшити в 2 рази (залишаючи незмінною довжину нитки)?



Мал. 73. Обладнання для виконання лабораторної роботи



Мал. 74. Коловий маятник

§ 13. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. МАЯТНИКИ

► Ви дізнаєтесь

Які рухи називаються коливальними
Що таке маятники

► Пригадайте

Якими специфічними величинами характеризується рух по колу

КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. З раннього дитинства під мамину пісню вас заколихували в ліжечку. А скільки радощів було від дитячої гойдалки! Усюди в нашому житті ми зустрічаємось із коливальним рухом (мал. 75). Коливаються гілки дерев від вітру, ресори автомобіля, поршні в його двигуні. Биття нашого серця — це теж приклад коливального руху. А хто не чув розмірений хід настінного годинника з маятником?

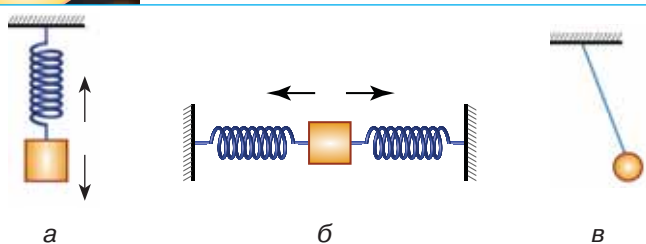
Ви можете розмовляти і чути завдяки коливанням, адже звук — це поширення механічних коливань у середовищі. Та й бачити навколишній світ ви можете завдяки коливанням, адже світло — це теж поширення коливань, тільки електромагнітних. Завдяки електромагнітним коливанням розвинулися сучасні засоби зв'язку (мобільний і супутниковий). Не зважаючи на те, що коливання поділяються на механічні й електромагнітні — властивості в них майже однакові. І вивчати їх дуже важливо, адже коливання можуть бути як корисними, так і завдавати шкоди спорудам, механізмам і здоров'ю людини. Наприклад, коливання, що виникають у будинках і мостах, стають іноді причиною їх руйнування. А якої біди можуть заподіяти коливання земної кори!

МАЯТНИКИ. Напростіше досліджувати коливальні рухи за допомогою маятників — пристроїв, які здатні здійснювати коливання (мал. 76).

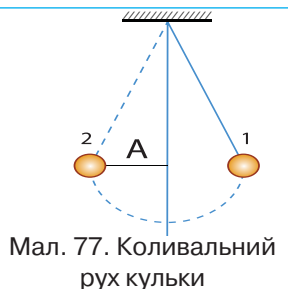
Вертикально закріплена пружина з тягарцем називається *вертикальним пружинним маятником* (мал. 76, а), дві горизонтальні пружини і тягарець між ними утворюють *горизонтальний пружинний*



Мал. 75. Приклади коливальних рухів



Мал. 76. Пристрої для дослідження коливань



Мал. 77. Коливальний рух кульки

маятник (мал. 78, б), підвішена на легкій і нерозтяжній нитці кулька — нитяний маятник (мал. 84, в).

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ. Основною рисою коливань є їх періодичність. Розглянуті нами в попередньому параграфі обертові рухи також є періодичними. На відміну від обертових рухів, які мають для кожної точки колові траєкторії, під час коливальних рухів точка чи тіло по чергово рухаються в протилежних напрямках по одній і тій самій траєкторії (мал. 76, 77).

У коливальному русі точка (тіло) проходить усі точки траєкторії руху (окрім двох крайніх) двічі — перший раз в одному напрямі, другий — у зворотному.

Розглянемо коливальний рух нитяного маятника (мал. 77).

Якщо відхилити кульку вправо (положення 1), а потім відпустити, то вона почне рухатися до початкового положення рівноваги O , але не зупиняється в ньому (у цей час швидкість її руху максимальна), а проходить далі й рухається вліво. Зупинившись у крайньому лівому положенні 2, кулька починає зворотний хід. Набираючи швидкості, кулька проходить положення рівноваги, повертається у крайнє праве положення, здійснивши одне повне коливання.

Механічні коливання — це такий рух, під час якого положення і швидкість руху тіла (точки) повторюються через певні інтервали часу.

Характеристиками коливального руху є *амплітуда*, *період* та *частота*.

Амплітуда коливань (A) — це максимальне відхилення тіла від положення рівноваги.

Одиниця амплітуди — метр (1 м).

Значення амплітуди залежить тільки від того, на яку відстань тіло було відведене від положення рівноваги перед початком коливань (див. мал. 77).

Період коливань (T) — час одного повного коливання.

$T = \frac{t}{N}$, де t — час, протягом якого відбувається N коливань.

Одиниця періоду — секунда (1 с).

Частота коливань (ν) — кількість коливань за одиницю часу.

$\nu = \frac{N}{t}$, де t — час, протягом якого відбувається N коливань.

Одиниця частоти коливань — **герц** (1 Гц = 1 с⁻¹). Ця одиниця названа на честь німецького фізика Генріха Герца, який у 1884 р. експериментально довів існування електромагнітних хвиль.

Період коливань є обернено пропорційними: $\nu = \frac{1}{T}$.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Коливання — це рух, під час якого положення і швидкість руху тіла (точки) повторюються через певні інтервали часу.

Характеристиками коливального руху є *амплітуда*, *період* та *частота*.

ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

Коливання земної кори. Одним із найнебезпечніших проявів природних коливань є землетруси. Підземні поштовхи в земній корі чи верхній частині мантиї викликають коливання земної поверхні, спричиняють деформацію земної кори та деформування чи руйнування споруд. Ділянка підземного удару викликає пружні коливання (сейсмічні хвилі), що поширюються по Землі в усіх напрямках. Ділянку Землі, що з неї виходять сейсмічні хвилі, називають *центром* землетрусу, якому на поверхні Землі відповідає *епіцентр* землетрусу.

У сейсмічному плані найнебезпечнішими областями в Україні є Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Одеська та Крим. Попередити землетруси точно поки що неможливо, їх прогнозування має орієнтовний характер. Серед усіх стихійних лих землетруси займають перше місце у світі за заповдіною економічною шкодою і кількістю загиблих.

Зазвичай землетрус класифікують за трьома параметрами: рівнем амплітуд, переважачим періодом і тривалістю коливань. Існують спеціальні прилади (сейсмографи) для визначення інтенсивності землетрусу, яку оцінюють за 12-бальною шкалою. На малюнку 78 зображено наслідки землетрусу.



Мал. 78. Наслідки землетрусу за 12-бальною шкалою інтенсивності

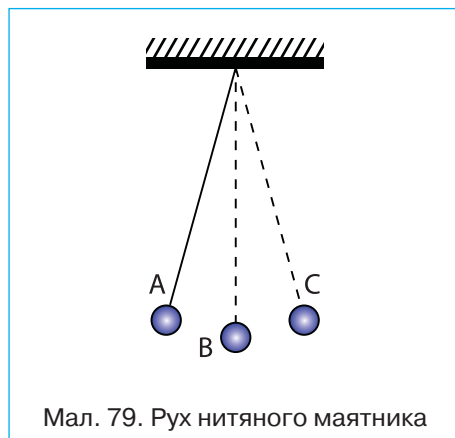
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

? Дайте відповідь на запитання

1. Наведіть приклади коливань. Які з них є механічними?
2. Що таке амплітуда механічних коливань?
3. Що таке період і частота коливань, який взаємозв'язок між ними?
4. Із наведених прикладів вкажіть рух, який є коливальним: а) рух молекул повітря; б) рух кінця хвилинної стрілки; в) рух людини на гойдалці; г) рух Землі навколо Сонця.
5. Що таке маятники? Якими вони бувають?

?! Поясніть

1. Кулька на нитці починає рухатися з точки А і здійснює коливання, проходячи послідовно точки А–В–С–В–А (мал. 79). Час руху між якими точками відповідає періоду коливань? У якій точці швидкість руху кульки найбільша?



2. Як зміняться період і частота малих коливань нитяного маятника, якщо зменшити довжину нитки?

Вправа 9

1. Маятник два повних коливання здійснює за 2 с. За який час маятник здійснить 8 повних коливань?
2. Частота коливань вантажу на пружині 0,5 Гц. Скільки коливань здійснить цей вантаж за 6 с?
3. Маятник зробив 50 коливань за 1 хв 40 с. Визначте період і частоту коливань.
4. Тіло, що коливається, за чотири періоди проходить 16 см. З якою амплітудою коливається тіло?
5. Амплітуда коливань маятника 4 см. Який шлях проходить тіло за два періоди?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ НИТЯНОГО МАЯТНИКА

- ▶ **Мета роботи:** дослідити нитяний маятник, з'ясувати, від чого залежить період його коливань.
- ▶ **Обладнання:** годинник із секундною стрілкою, вимірювальна стрічка, нитка, штатив, набір тягарців, транспортир.

Вказівки щодо виконання роботи

- I. З'ясуйте залежність між довжиною маятника і періодом його коливань.

1. На краю стола встановіть штатив. Візьміть нитку завдовжки 1 м і підвісьте на ній тягарець (мал. 80).
2. Відхиліть маятник на невеликий кут (5°) і без поштовху відпустіть. Пропустіть декілька коливань, а потім за допомогою секундоміра визначте час t_1 , за який маятник здійснює $N = 40-50$ повних коливань.

3. Період коливань визначте за формулою: $T_1 = \frac{t_1}{N}$.

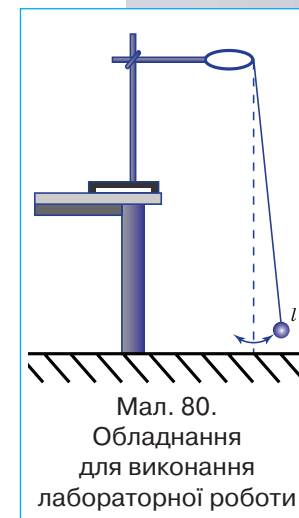
4. Зменшіть довжину нитки у 2 рази і знову визначте період коливань T_2 .
5. Виконайте те саме в чотири рази коротшим маятником ($l_3 = 25$ см).
6. Зробіть висновок щодо залежності періоду коливань від довжини нитки.

- II. З'ясуйте залежність між масою маятника і періодом його коливань.

7. Зафіксуйте довжину нитки маятника (наприклад, 50 см) і підвісьте на ній один тягарець, виконайте вимірювання (див. п. 2 і 3).
8. Не змінюючи довжини нитки маятника, підвісьте на ній два тягарці та виконайте вимірювання (див. п. 2 і 3).
9. Зробіть висновок щодо залежності періоду коливань маятника від його маси.

- III. З'ясуйте, як залежить період коливань маятника від кута відхилення.

10. Виконайте три досліди (див. п. 2 і 3), фіксуючи за допомогою транспортира початковий кут відхилення маятника (5° , 10° , 15°). З'ясуйте, як залежить період коливань маятника від кута відхилення.



УЧИМОСЯ ВИКОНУВАТИ НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ З ФІЗИКИ

Значення навчальних проектів та їх типи

Навчальні проекти є ефективним засобом засвоєння, поглиблення та закріплення знань із фізики, або іншого предмета, а також вироблення вмінь, навичок, прийомів застосування набутих знань на практиці.

Навчальний проект потребує творчого підходу до його виконання. Це діяльність, яка дає вам змогу проявити себе індивідуально або в групі, спробувати свої сили, прикласти свої знання, принести користь, показати публічно досягнутий результат. Виконання навчального проекту дозволяє виробляти і розвивати специфічні уміння й навички *проектування*: уміння обрати проблему, визначити ціль, планувати діяльність, здійснювати пошук інформації, практично застосовувати набуті знання, презентувати себе та отриманий результат, здійснювати самоаналіз.

Існує декілька типів навчальних проектів, способів їх виконання та отриманого результату:

дослідницькі проекти — метою яких є доведення чи спростування якої-небудь гіпотези, і як результат — новий спосіб розв'язання проблеми або узагальнений висновок;

практичні проекти — розв'язання практичних завдань «замовника» проекту, і як результат — розробка наочного посібника, макета, інструкції, рекомендацій;

інформаційні проекти — збір інформації про який-небудь об'єкт чи явище, і як результат — статистичні дані, аналіз опитувань громадської думки, узагальнення висловлювань різних авторів з досліджуваної проблеми;

ігрові (рольові) проекти — відображення реальних процесів і явищ в образі дійових осіб, як результат — моделювання реального об'єкту.

Інколи розв'язання фізичних проблем може поєднувати одночасно вказані типи проектів.

Поради учням

Найважливішою навичкою, яку ви отримуєте в ході проектної діяльності, є навичка публічного виступу з метою презентації результату своєї роботи (проектного продукту) і самопрезентації власної компетентності. Уміння коротко і переконливо розповісти про себе і свою роботу є вимогою сучасного суспільства.

Захист проектів, як правило, відбувається у формі презентації (7—10 хв.) у ході якої ви маєте ознайомити присутніх із результатами своєї роботи.

Вступ

Тема мого проекту...

Я вибрав цю тему, тому що...

Мета моєї роботи...

Результатом проекту буде...

Цей результат допоможе досягти мета проекту, оскільки...

План моєї роботи (вказати час виконання і перелічити всі проміжні етапи):

— Вибір теми й уточнення назви...

— Збір інформації (де і як шукав інформацію)...

— Досягнення результату (що і як робив)...

— Написання письмової частини проекту (як це робив)...

Основна частина

Я розпочав свою роботу з того, що...

Потім я приступив до...

Я завершив роботу тим, що...

У ході роботи я зіткнувся з такими проблемами...

Щоб впоратися з проблемами, що виникли я...

Я відхилився від плану (вказати, коли був порушений графік роботи)...

План моєї роботи був порушений, тому що...

У ході роботи я прийняв рішення змінити проектний продукт, оскільки...

Але все-таки мені вдалося досягти мети проекту, тому що...

Висновок

Закінчивши свій проект, я можу сказати, що не все з того, що було задумано, вийшло, наприклад...

Це сталося, тому що...

Якби я почав роботу наново, я б...

Наступного року я, можливо, продовжу цю роботу для того, щоб...

Я думаю, що я розв'язав проблему свого проекту, оскільки...

Робота над проектом показала мені, що (що дізнався про себе і про проблему, над якою працював)...

Звичайно, вам не обов'язково користуватися цим шаблоном у повному обсязі, використовуйте ті позиції, які найкраще підходять у кожному окремому випадку.

НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ

Визначення середньої швидкості нерівномірного руху

Пропонуємо декілька проблемних ситуацій:

1. Прочитайте книжку Жульє Верна «Навколо світу за 80 днів». Оцініть швидкість на різних ділянках, які проїхав Філеас Фогг поїздом, пароплавом, на слоні, на парусному човні й у цілому на всьому шляху. Як визначають швидкість літака; корабля? Як би вигравав парі сучасний Філеас Фогг?

2. Дослідіть графік руху поїздів на сайті Укрзалізниці www.uz.gov.ua.

Який потяг найшвидший в Україні?

3. Проведіть вимірювання швидкості руху різних тіл.

4. Запропонуйте способи вимірювання швидкості обертання Землі навколо своєї осі. Що буде, якщо зміниться середня швидкість обертання Землі?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ДО РОЗДІЛУ «МЕХАНІЧНИЙ РУХ»

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

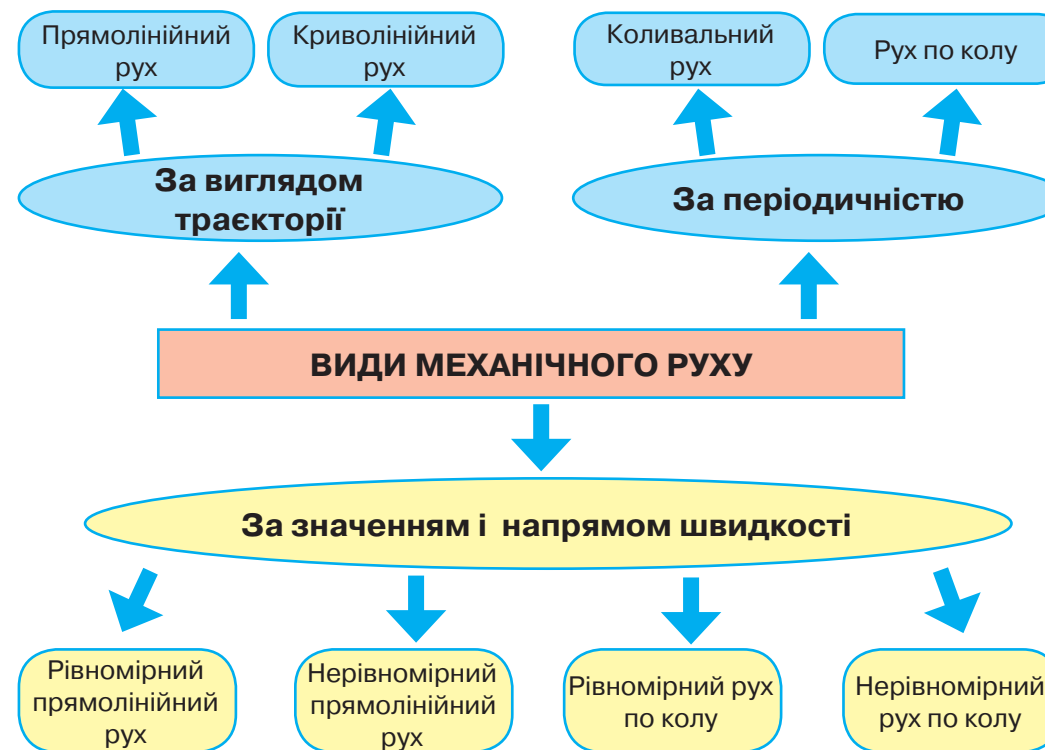
Рух і спокій — поняття відносні. Для опису механічного руху тіла вибирають *систему відліку* — тіло відліку, пов'язану з ним систему координат і зазначення початку відліку часу.

Механічний рух умовно ділять на два найпростіші види: *поступальний* і *обертальний рухи*. Якщо розглядається поступальний рух тіла або рух тіла, розміри якого малі, порівняно з довжиною пройденого шляху, то тіло вважають *матеріальною точкою*.

Неперервна уявна лінія, яку описує матеріальна точка під час свого руху в обраній системі відліку, називається *траєкторією*.

Зміну положення тіла можна визначити за пройденим *шляхом*, або за *переміщенням*. Шлях є величиною скалярною, переміщення — векторною.

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



Мал. 81

ПЕРЕВІР СВОЇ ЗНАННЯ

- Прикладом механічного руху є...
 - затемнення Сонця
 - плавлення льоду
 - падіння яблука з дерева
 - блискавка
- У якому випадку можна вважати Землю матеріальною точкою, визначаючи...
 - відстань від Землі до Сонця
 - шлях яблука під час його падіння на Землю
 - довжину екватора
 - швидкість руху точки екватора під час добового обертання Землі навколо осі
- Систему відліку становить сукупність...
 - тіла відліку й матеріальної точки
 - тіла відліку й декартової системи координат
 - тіла відліку, матеріальної точки й годинника
 - тіла відліку, системи координат й годинника

4. Який з наведених нижче рухів можна вважати рівномірним?

- А. рух людини на гойдалці
- Б. рух кінця хвилиної стрілки
- В. рух велосипедиста
- Г. рух футболіста на полі під час гри

5. Тіло перемістилося з точки A в точку B уздовж кривої, яка зображена на *малюнку 82* суцільною лінією. Для визначення шляху, пройденого тілом, треба визначити...

- А. довжину відрізка AB
- Б. довжину кривої AB
- В. суму довжин відрізка AB і кривої AB
- Г. модуль вектора переміщення AB

6. Прикладом коливального руху є...

- А. рух молекул повітря
- Б. рух кінця хвилиної стрілки
- В. рух людини на гойдалці
- Г. рух Землі навколо Сонця

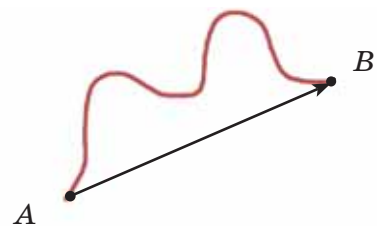
7. Під час рівномірного руху пішохід проходить за 10 с шлях 15 м. Який шлях він пройде при русі з тією самою швидкістю за наступні 3 с?

- А. 5 м
- Б. 3 м
- В. 4,5 м
- Г. 45 м

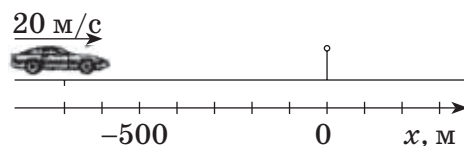
8. Користуючись *малюнком 83*, вкажіть на рівняння руху автомобіля.

- А. $x = -500 + 20t$
- Б. $x = -700 + 20t$
- В. $x = -700 - 20t$
- Г. $x = 20 - 700t$

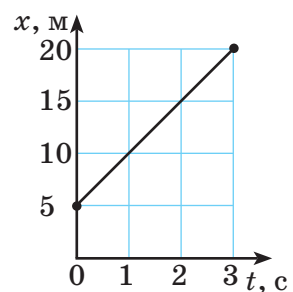
9. Швидкість руху акули становить 40 км/год. Переведіть це значення в м/с (відповідь заокруглити до цілих).



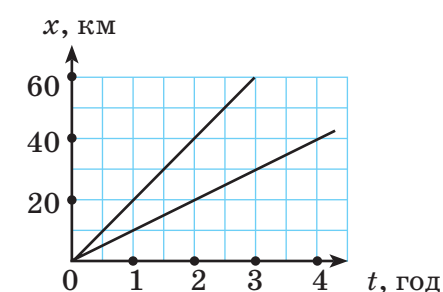
Мал. 82. Траекторія і переміщення тіла



Мал. 83



Мал. 84. Графік руху тіла



Мал. 85

- А. 11 м/с
- Б. 12 м/с
- В. 13 м/с
- Г. 40 м/с

10. Частота коливань вантажу на пружині 0,5 Гц. Скільки коливань здійснить цей вантаж за 6 с?

- А. 3
- Б. 4
- В. 9
- Г. 12

11. Рівняння руху має вигляд $x = -2 + 8t$. Визначте координату тіла через 5 с.

12. Визначте за графіком на *малюнку 84* шлях, що проходить тіло за першу секунду руху.

13. Точка, розташована на ободі колеса радіусом 30 см, зробила повний оберт. Який шлях вона пройшла?

14. Автомобіль і мотоцикл проїхали повз хлопчика, що стояв на узбіччі дороги, із швидкостями 72 км/год і 15 м/с відповідно. Яка відстань буде між цими транспортними засобами через одну хвилину, якщо вони рухаються з незмінними швидкостями в одному напрямі прямолінійною ділянкою дороги?

15. Велосипедист рухався 5 хв із середньою швидкістю 9 м/с, а потім ще 10 хв із середньою швидкістю 6 м/с. Визначте середню швидкість велосипедиста за весь час руху.

16. На *малюнку 85* зображено графіки залежності шляху від часу для скутера та трактора, які рухаються вздовж одного шосе. На якій відстані будуть транспортні засоби через 3 год? Яка швидкість руху скутера та трактора?

17. Швидкість катера в озері 7 м/с. За який час катер подолає відстань 960 м, рухаючись за течією річки, швидкість якої 1 м/с? Який час затратить катер на подолання того самого шляху проти течії?

РОЗДІЛ

3

ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

- ▶ У попередньому розділі ви розглядали рух тіла, не ставлячи питання, а чому ж тіло почало рухатись, чому воно зупинилось.
- ▶ Знання і повсякденний досвід показують, що зміна швидкості руху тіла (за значенням і напрямом) не відбувається довільно. Щоб тіло змінило свою швидкість, повинна існувати певна причина: дія одного тіла на інше — взаємодія тіл.
- ▶ Вивчаючи розділ «Взаємодія тіл. Сила», ви зможете дати відповідь на запитання: чому тіла змінюють швидкість свого руху, чому всі тіла падають на землю, що означають — вага тіла і стан невагомості, що таке деформації і тертя.
- ▶ Ви зможете пояснювати сутність взаємодії тіл, явище інерції. З'ясуєте, що таке маса тіла, густина речовини. Дослідите природу сил, які виявляють себе в механічних явищах, особливості руху тіл під дією цих сил. Навчіться розв'язувати задачі на визначення густини речовини, ваги тіла та сили тяжіння. Навчіться вимірювати масу тіла, практично перевірите пружну взаємодію, застосовуючи закон Гука.

- § 14. Явище інерції та інертність тіл
- § 15. Густина речовини
- § 16. Сила
- § 17. Сила тяжіння
- § 18. Рівнодійна сил
- § 19. Сили пружності
- § 20. Вага тіла. Невагомість
- § 21. Сили тертя

§ 14. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ ТА ІНЕРТНІСТЬ ТІЛ

► Ви дізнаєтесь

Що таке інерція
Що таке інертність тіла
Що таке маса тіла

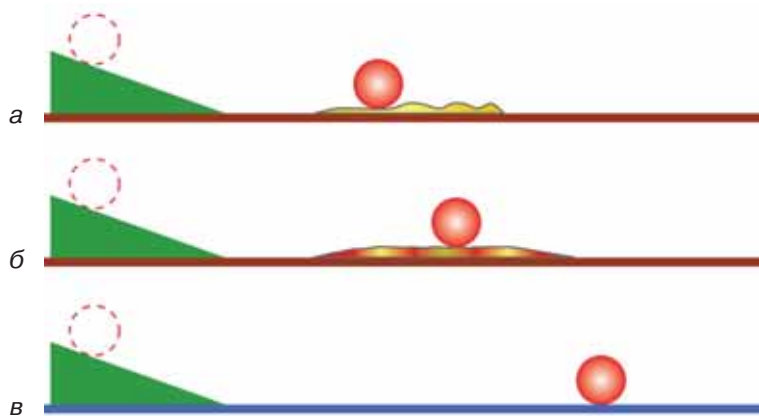
► Пригадайте

Що ви спостерігаєте під час різкого гальмування автобуса

ЧИ Є ПРИЧИНИ РУХУ ТІЛА? Питання, що є причиною руху тіл, цікавило людей ще з давніх часів. Давньогрецький учений Аристотель переконував, що причиною руху є дія одного тіла на інше, тобто рух без сторонньої дії неможливий. Як аргумент він наводив приклад про коня і воза. Допоки кінь тягне воза, він рухається. Якщо кінь зупиниться — віз також не рухатиметься. Авторитет Аристотеля був настільки великим, що його твердження ніхто не насмівся заперечувати протягом двох тисячоліть!

Лише в XVII ст. італійський учений-дослідник Галілео Галілей спробував спростувати це твердження. Досліджуючи рух кульки по похилому жолобу, він помітив, що її швидкість збільшується, коли куля котиться по похилому жолобу вниз, а коли куля котиться нагору — її швидкість зменшується. Галілей припустив, що, коли куля котиться по горизонтальній площині за повної відсутності тертя та будь-якого опору, її швидкість залишатиметься постійною і для підтримання руху не потрібно жодної причини!

Галілей був перший серед учених, хто почав перевіряти свої припущення на досліді. Він скочував кулі з похилого жолобу і спостерігав за їхнім подальшим рухом по горизонтальній поверхні (мал. 86).



Мал. 86. Ілюстрація дослідів Галілея

По посипаній піском поверхні куля котиться зовсім небагато (мал. 86, а), по тканині прокотиться набагато довше (мал. 86, б), а по гладкому склу котитиметься дуже довго (мал. 86, в). Але зрештою вона зупиниться. На підставі своїх дослідів Галілео з'ясував, що причиною зменшення швидкості кулі є зовнішня дія — тертя об поверхню. Під час руху по тканині тертя менше, ніж по піску, а під час руху по склу — ще менше. А якби тертя зовсім не було — куля котилась б нескінченно довго.

ІНЕРЦІЯ. Чим меншою є дія інших тіл на рухоме тіло, тим довше не змінюється швидкість його руху і тим більше його рух подібний до рівномірного. Отримані Галілео Галілеєм висновки згодом були сформульовані Ісааком Ньютоном у вигляді закону, який згодом назвали *законом інерції*.

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

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

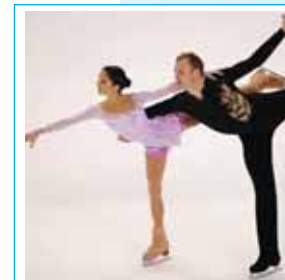
Рух тіла за відсутності дії на нього інших тіл ще називають *рухом за інерцією* (від лат. *inertia* — бездіяльність).

Інерція — це явище збереження тілом швидкості за відсутності зовнішніх дій на нього з боку інших тіл.

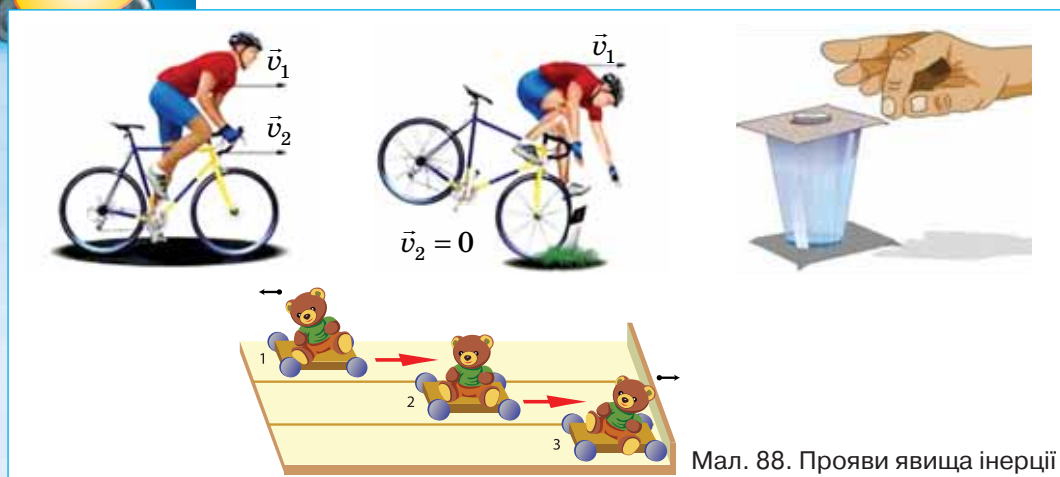
Суть явища інерції, коли тіло зберігає свою швидкість і рухається «саме собою» ви часто використовуєте, навіть не задумуючись над цим.

Кому з вас не доводилось, розігнавшись на велосипеді, деякий час насолоджуватись рухом, не крутячи педалі!

Особливо ефектно спостерігати явище інерції в зимових видах спорту, де тертя вдається зробити особливо малим (мал. 87).



Мал. 87. Рух за інерцією



Мал. 88. Прояви явища інерції

Отже, якщо на тіло не діють інші тіла — воно зберігає свою швидкість сталою. Відповідно, щоб тіло змінило свою швидкість — необхідний вплив іншого тіла. І прояв явища інерції в цьому разі стає небезпечним, адже внаслідок інерції не можна миттєво змінити швидкість руху тіла — для цього потрібен час.

Наприклад, під час різкого гальмування автобуса пасажери деякий час продовжують зберігати свій попередній стан руху і нахиляються вперед. Якщо ж автобус різко починає рух, то пасажери за інерцією залишаються в спокої і відхиляються назад.

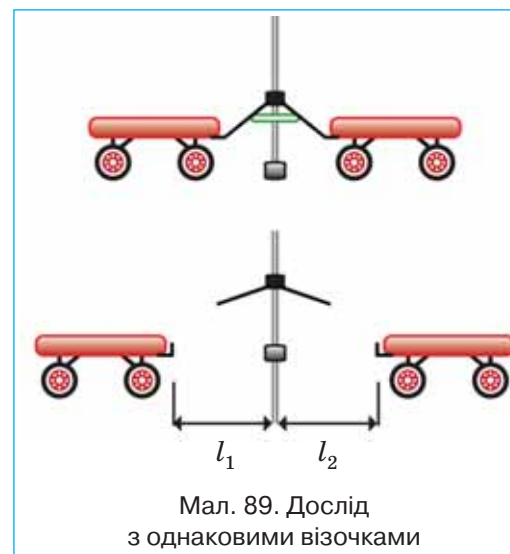
На малюнку 88 зображено випадки прояву явища інерції. Прокоментуйте їх.

ІНЕРТНІСТЬ ТІЛ. МАСА. Для того щоб тіло змінило швидкість, потрібна дія іншого тіла, або, як кажуть, взаємодія між тілами.

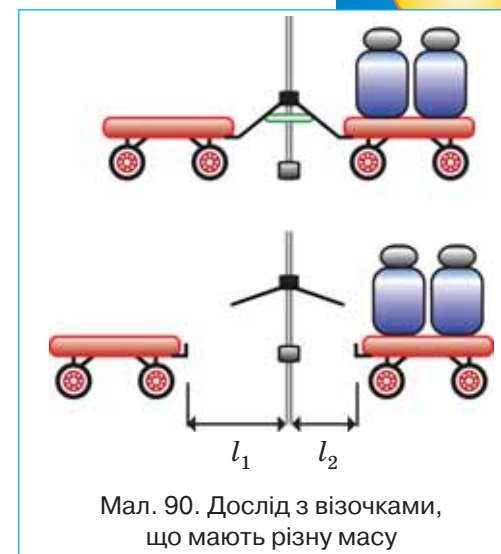
Практичні спостереження явища інерції дозволяють встановити ще одну закономірність: чим масивніше тіло, тим більше часу потрібно, щоб змінити його швидкість.

Переконаємось у цьому на досліді. Зігнеммо гнучку пластинку, її кінці зв'яжемо ниткою і закріпимо на штативі. До кінців пластинки впритул поставимо два однакові візочки. Якщо нитку перерізати, то пластинка розпрямиться і штовхне обидва візочки, надавши їм однакових швидкостей. Обидва візочки за один і той самий час пройдуть однакові відстані (мал. 89).

Коли на один із візків покласти який-небудь вантаж (збільшити його масу) і повторити дослід, то візок, що має більшу масу, пройде меншу відстань (мал. 90).



Мал. 89. Дослід з однаковими візочками



Мал. 90. Дослід з візочками, що мають різну масу

Отже, в разі дії однієї й тієї ж зігнутої пластинки за один і той самий інтервал часу візки набули різних швидкостей.

Узагальнюючи дослід на подібні явища, зазначимо: тіло з більшою масою, яке під час взаємодії повільніше змінює свою швидкість, називають більш *інертним*, а тіло меншої маси — менш *інертним*.

Інертність — це властивість тіла зберігати свій стан руху.

При розгляді дослідів було застосоване поняття *маси тіла*. Усупереч тому, що, на перший погляд, це поняття здається простим і зрозумілим, воно протягом усього часу становлення фізичної науки неодноразово викликало наукові суперечки. Його суть ми будемо поступово з'ясовувати під час подальшого вивчення фізики.

Виходячи із досліджуваних явищ, можна стверджувати, що чим більшою є маса тіла, тим воно інертніше, а чим меншою є маса — тим менш інертне, іншими словами маса кількісно характеризує інертність тіла.

Маса — це фізична величина, яка кількісно характеризує інертність тіла.

Усі тіла — людина, Земля, Сонце, краплина води, атом, молекула тощо мають масу.

Масу позначають малою латинською літерою *m*. У СІ одиницею маси є кілограм 1 (кг).



Мал. 91,
а — важільні терези
з важками;
б — еталон 1 кг

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

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

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг} = 10^2 \text{ кг};$$

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

$$1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг} = 10^{-6} \text{ кг}.$$

Для вимірювання маси існує декілька способів. Враховуючи розглянуті досліди, можна зробити висновок: маси двох тіл обернено пропорційні модулям швидкостей, яких вони набувають під час

$$\text{взаємодії: } \frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Спосіб вимірювати масу тіла за зміною його швидкості під час взаємодії в повсякденному житті використовують не часто. Найбільш поширений і давній спосіб — це зважування тіла на важільних терезах (мал. 91, а). Зважити тіло — означає порівняти його масу з масою еталона в 1 кг.

За еталон в 1 кг взято масу спеціально виготовленого циліндра зі сплаву платини та іридію (мал. 91, б). Зберігається еталон маси в Міжнародному бюро мір і ваги в м. Севрі, що під Парижем.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Якщо на тіло не діють інші тіла, то воно зберігає стан спокою або прямолінійного рівномірного руху (рухається за інерцією).

Інертність — властивість тіла зберігати стан руху (або спокою).

Маса — фізична величина, яка кількісно характеризує інертність тіла.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що називають інерцією; інертністю тіла?
2. Сформулюйте закон інерції.
3. Що таке маса тіла? Які її одиниці?
4. Які способи вимірювання маси вам відомі?

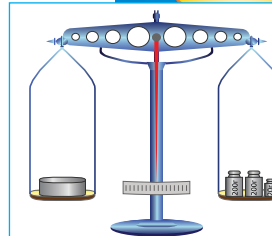


Поясніть

1. Чому людина, яка спотикнулася, падає в напрямі руху?
2. У чому полягає різниця при звільненні ковдри від пилу при її вибиванні й витрушуванні?
3. Наведіть приклади, які показують, як змінюється швидкість двох тіл різної маси внаслідок їх взаємодії.

Вправа 10

1. Виразіть в кг такі значення маси: а) 0,1 г; б) 200 мг; в) 3 т; г) 40 ц.
2. Визначте сумарну масу:
 $5 \text{ кг} + 200 \text{ г} + 150 \text{ мг} = \dots \text{ г},$
 $5 \text{ т} + 350 \text{ кг} + 500 \text{ г} = \dots \text{ кг},$
 $1900 \text{ г} + 100 \text{ мг} = \dots \text{ кг}.$
3. Маса однієї молекули води приблизно дорівнює $2,99 \cdot 10^{-26}$ кг. Визначте масу $5 \cdot 10^{20}$ молекул.
4. На малюнку 92 важільні терези перебувають у рівновазі. Яка маса металевої деталі?
5. Унаслідок зіткнення дві кульки, які рухались назустріч одна одній, зупинились. Порівняйте маси кульок, якщо початкова швидкість першої кульки 2 м/с, а другої — 12 м/с.
6. Рухома куля зазнає зіткнення з нерухомою кулею. Унаслідок цього перша куля зупиняється, а друга приходить у рух зі швидкістю першої кулі. Що можна сказати про маси цих куль?



Мал. 92. Яка маса металевої деталі?

ЦІКАВІ ФАКТИ

Хто і коли винайшов терези?

Який народ і коли винайшов терези — невідомо. Можливо, це було зроблено багатьма народами, незалежно один від одного, і простота у використанні послугувала їх широкому застосуванню (мал. 93).



Мал. 93.
Використання терезів у Стародавньому Єгипті

Одиниця маси, як і одиниця довжини, спочатку встановлювалася за природними еталонами. Найчастіше таким еталоном була маса зернини. Так, наприклад, масу дорогоцінних каменів визначають до сьогодні в каратах (0,2 г) — це маса насінини одного з видів бобів.

Згодом за одиницю маси стали використовувати масу води, яка заповнювала посудину певного об'єму. Наприклад, у Стародавньому Вавилоні за одиницю маси приймали талант — масу води, яка повністю витікала з посудини через невеликий отвір протягом години.

За масою насінин або води виготовляли металеві гирі різної маси, які зберігались у храмах або управлінських закладах.

На Київській Русі одиницею маси була *гривна* (409,5 г). Пізніше вона була названа *фунтом*. Для визначення більших мас застосовувався пуд (16,38 кг), а менших — *золотник* (12,8 г).

Масу тіла також можна визначити за допомогою пружинних ваг, які не потребують гир. Але зазначимо, що якби одне й те саме тіло зважували за допомогою терезів і пружинних ваг, наприклад, на Місяці, то значення маси, визначене за допомогою терезів було б таке саме, як і на Землі, а якщо за допомогою пружинних ваг — то їх покази були б у 6 разів менші!!! Чому це так, ви дізнаєтесь пізніше.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 6

ВИМІРЮВАННЯ МАСИ МЕТОДОМ ЗВАЖУВАННЯ

- ▶ **Мета роботи:** оволодіти навичками роботи з важільними терезами, навчитись вимірювати масу тіл.
- ▶ **Обладнання:** важільні терези, набір важків, тіла для зважування, хімічна склянка, колба з водою.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Перед початком роботи ознайомтеся із правилами зважування на терезах:
 - Перед зважуванням треба переконатися, що терези зрівноважені. Щоб установити рівновагу, на легшу шальку слід покласти дрібненькі папірці.
 - Щоб терези не псувалися, зважуване тіло й важки треба опускати на шальки обережно, не випускаючи їх навіть з невеликої висоти.
 - Не можна зважувати тіла, важчі від зазначеного на терезах граничного навантаження.
 - Зважуване тіло кладуть на ліву шальку терезів.
 - На праву шальку терезів кладуть важки, виймаючи їх з футляра спеціальним пінцетом.
 - Поклавши зважуване тіло на ліву шальку, на праву кладуть важок, маса якого є близькою до маси тіла. Якщо важок перетягує шальку, то його ставлять назад у футляр, а коли не перетягне — залишають на шальці. Потім те саме роблять із наступним важком, поки не буде рівноваги.
 - Зрівноваживши тіло, підраховують загальну масу важків, що лежать на шальці терезів. Після цього переносять важки з шальки терезів у футляр.
2. Розгляньте терези, визначте межі маси вантажу, який можна вимірювати даними терезами (вони вказані на коромислі). Перевірте, чи терези перебувають у рівновазі, якщо потрібно, зрівноважте їх.
3. Розгляньте важки і запишіть у зошит значення маси важків від найбільшого до найменшого.

4. Виміряйте масу вказаного вчителем тіла і результат вимірювання запишіть у таблицю. (У таблиці наведено приклад вимірювання маси гайки).
5. Виміряйте масу порожньої склянки. Результати запишіть у таблицю.
6. Не знімаючи склянку із шальки, налейте в неї певну кількість води.
7. Виміряйте масу склянки з водою. Результати запишіть у таблицю.

№ досліду	Назва тіла	Набір важків, що зрівноважують тіло	Маса тіла m , г, кг
1	Гайка	100 г; 20 г; 10 г; 5 г; 1 г; 200 мг; 50 мг; 20 мг	136,27 г \approx 136,3 г \approx 0,1363 кг
2			
3	Порожня склянка		
4	Склянка з водою		

8. Обчисліть масу води у склянці.
9. Зробіть висновок.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вимірювати масу невеликих тіл можна і в домашніх умовах на саморобних терезах. Для цього вам будуть потрібні: лінійка (або в'язальна спиця), дві однакові пластмасові кришечки, нитки, різні монети, невеликі тіла відомої маси (наприклад, пакетик чаю чи кави, на якому вказана його маса), шприц і тіла, масу яких ви хочете визначити.

Дві пластмасові кришечки — це будуть шальки. За допомогою ниток прикріпіть шальки до кінців лінійки. Намотайте декілька витків нитки чітко посередині лінійки і зробіть петлю, за допомогою якої будете тримати ваші терези.

Як важки можна використати невеликі тіла відомої маси та монети.

Маси монет:

1 к. — 0,5 г; 10 к. — 1,7 г;
2 к. — 0,64 г; 25 к. — 2,9 г;
5 к. — 4,3 г; 50 к. — 4,2 г.

Проведіть вимірювання мас невеликих тіл.

Виміряйте масу порожнього шприца. Наберіть у нього води і виміряйте їх загальну масу. Обчисліть масу води в шприці.

§ 15. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

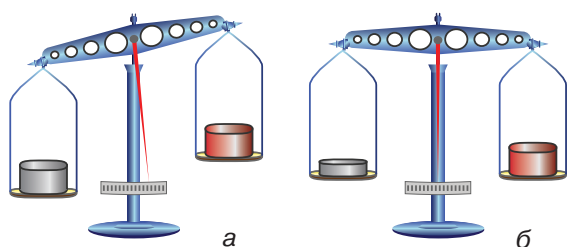
► Ви дізнаєтесь

Що таке густина тіла
Як визначити густину тіла,
знаючи його масу та об'єм

► Пригадайте

Що таке маса тіла
Що таке об'єм тіла

ЩО ПОКАЗУЄ ГУСТИНА РЕЧОВИНИ. Якщо на шальки терезів покласти тіла, які мають однаковий об'єм, але виготовлені з різних речовин — то рівновага шальок порушується. Якщо з цих речовин виготовити такі тіла, щоб їх маса була однаковою, то вони будуть різнитися розмірами (мал. 94).



Мал. 94. Порівнювання мас тіл із різних речовин:
а — однакових об'ємів; б — різних об'ємів

Відношення об'ємів різних тіл однакової маси залежить від вибору речовини, з якої ці тіла виготовлено. Отже, існує певна фізична величина, що характеризує дану речовину. Її називають *густиною*.

Густина речовини — це фізична величина, яка характеризує щільність речовини і показує, чому дорівнює маса речовини, узятій в об'ємі 1 м^3 .

Щоб визначити густину речовини, треба масу тіла поділити на його об'єм. Математично це можна записати у вигляді формули: $\rho = \frac{m}{V}$.

Густина речовини позначається малою грецькою літерою ρ (читається «ро»).

Одиниця густини — кілограм на метр кубічний $\left(1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

Густину речовини записують і в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Оскільки в $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$, а $1 \text{ м}^3 = 1 \cdot 10^6 \text{ см}^3$, то співвідношення між цими одиницями буде таким:

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

Густина визначає масу одиниці об'єму. Наприклад, густина заліза $7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Це означає, що залізне тіло об'ємом 1 см^3 має масу $7,8 \text{ г}$.

Дані про густину деяких речовин у різних станах наведено в таблицях.

Густини деяких речовин у твердому стані ($20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Платина	21 500	Граніт	2600
Золото	19 300	Скло	2500
Свинець	11 300	Порцеляна	2300
Срібло	10 500	Бетон	2200
Мідь	8900	Оргскло	1200
Латунь	8500	Капрон	1140
Сталь, залізо	7800	Поліетилен	940
Олово	7300	Парафін	900
Цинк	7100	Лід	900
Чавун	7000	Дуб сухий	800
Алюміній	2700	Сосна суха	440
Мармур	2700	Корок	240

Густини деяких речовин у рідкому стані ($20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Ртуть	13 600	Машинне мастило	900
Рідке олово (за $t = 409 \text{ }^\circ\text{C}$)	6830	Бензол	880
Сульфатна кислота	1800	Рідке повітря ($-194 \text{ }^\circ\text{C}$)	860
Мед	1420	Нафта	800
Гліцерин	1260	Гас	800
Рідкий кисень ($-183 \text{ }^\circ\text{C}$)	1140	Спирт	800
Вода морська	1030	Ацетон	790
Вода чиста ($4 \text{ }^\circ\text{C}$)	1000	Ефір	710
Олія	900	Бензин	710

Густина деяких речовин у газоподібному стані за нормальних умов ($t = 0\text{ }^\circ\text{C}$, тиск 760 мм рт. ст.)

Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Хлор	3,210	Чадний газ	1,250
Вуглекислий газ	1,980	Водяна пара (100 °C)	0,88
Кисень	1,430	Гелій	0,180
Повітря	1,290	Водень	0,090
Азот	1,250		

Значення густини інших речовин занесені до спеціальних фізичних довідників.

Густина однієї й тієї самої речовини у твердому, рідкому та газоподібному станах різна. Зокрема, густина льоду $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, води $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, водяної пари $0,59 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

РОЗРАХУНОК МАСИ ТА ОБ'ЄМУ ТІЛА ЗА ЙОГО ГУСТИНОЮ. У практичних цілях, щоб визначити густину речовини, користуються наведеною вище формулою $\rho = \frac{m}{V}$.

Знаючи густину речовини, з якої виготовлене тіло, і його об'єм, можна визначити масу тіла, не зважуючи його. Це ще один із методів визначення маси тіла. Справді, якщо $\rho = \frac{m}{V}$, то $m = \rho V$.

Відповідно, знаючи густину й масу тіла, можна визначити його об'єм: $V = \frac{m}{\rho}$.

У наведених вище прикладах розглядалися однорідні тіла, тобто тіла, що складаються з однієї речовини і не мають порожнин. У таких випадках густина тіла дорівнює густині речовини, з якої воно складається.

Якщо тіло неоднорідне або має порожнини, визначають його середню густину. При цьому користуються тими самими формулами.

Наприклад, середня густина тіла людини $1036 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; середня густина крові $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Густина речовини — це фізична величина, яка характеризує щільність речовини і показує, чому дорівнює маса речовини, узятій в об'ємі 1 м^3 .

Математично густину визначають за формулою: $\rho = \frac{m}{V}$.

Густина однієї й тієї самої речовини у твердому, рідкому та газоподібному станах різна. Зокрема, густина льоду $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, води $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, водяної пари $0,59 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

ЦІКАВІ ФАКТИ

Оскільки всі речовини складаються з молекул, то масу будь-якого тіла можна визначити, як суму мас його молекул. Наприклад, маса краплі води дорівнює добутку маси однієї молекули на число молекул у краплині.

Отже, густину речовини можна також обчислити за масою молекули та їх кількістю в одиниці об'єму.

Як ви гадаєте, густина речовини в рідкому і газоподібному стані однакова? Не поспішайте з відповіддю. Подумайте.

Ви вже знаєте, що в різних агрегатних станах склад речовини не змінюється, отже, молекули однакові, а значить й однакові їх маси.

Але, як виявляється, густина речовини в різних агрегатних станах — різна. Наприклад, густина кисню в газоподібному стані $1,43 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Після стискання й охолодження отримують рідкий

кисень — його густина $1140 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Майже в 1000 разів більша!

Як це пояснити?

Це означає, що в 1 м^3 газоподібного і рідкого кисню міститься різна кількість молекул. Дійсно, у газах молекули перебувають на більших відстанях одна від одної, ніж у рідинах. Тому їх кількість в 1 м^3 газу, менша, ніж в об'ємі 1 м^3 рідини.

Таким чином, можна стверджувати, що густина речовини характеризує щільність розташування її молекул.

А як ви гадаєте, густина речовини буде залежати від температури?

Як вам уже відомо, тверді тіла, рідини й гази, як правило, при нагріванні розширюються, а при охолодженні — стискаються. Винятком є вода, чавун і деякі інші речовини.

Під час нагрівання збільшується швидкість руху молекул, у результаті збільшується середня відстань між молекулами, а отже, і об'єм тіла. Кількість молекул не змінюється, а отже, і маса речовини не змінюється.

Таким чином, під час нагрівання речовини її маса не змінюється, об'єм збільшується, отже густина — зменшується. При охолодженні навпаки — густина речовини збільшується.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



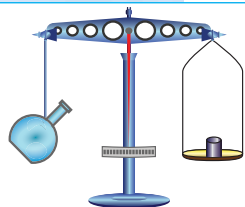
Дайте відповідь на запитання

1. Що показує густина речовини?
2. Які є способи визначення густини речовини?
3. Чому густина газів менша за густину рідин і твердих тіл?



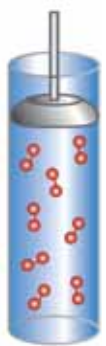
Поясніть

1. На терезах зрівноважили відкриту колбу (див. мал. 95). Чи порушиться рівновага терезів, якщо колбу нагріти, підніси до неї спиртівку?
2. У циліндрі під поршнем міститься кисень (мал. 96, а). Поршень опускають (мал. 96, б). Поясніть, як при цьому змінюється: а) маса газу; б) об'єм газу; в) густина газу.

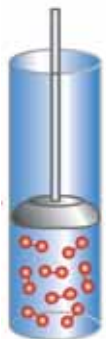


Мал. 95.

Чи порушиться рівновага терезів?



а



б

Мал. 96.
Які зміни відбуваються з киснем?

Дано:
 $a = 2 \text{ см}$
 $m = 22 \text{ г}$
 $\rho = ?$

СІ
 $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
 $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$

Розв'язання
Об'єм кубика з ребром a визначається за формулою $V = a^3$. Підставляючи цей вираз у формулу для визначення густини, отримуємо: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$.

Підставляємо числові значення:

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

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

Задача 2. Свинцева куля об'ємом 40 см^3 має масу $0,565 \text{ кг}$. Визначте, суцільна ця куля чи порожниста. Якщо куля порожниста, то визначте об'єм порожнини.

Дано:
 $V_{\text{к}} = 40 \text{ см}^3$
 $m = 0,565 \text{ кг}$
 $\rho = 11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

СІ
 $4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$

Розв'язання
Якщо куля суцільна, то, знаючи густину свинцю і масу кулі, з'ясуємо, який вона повинна мати об'єм V . Якщо отримане значення об'єму буде збігатись із заданим у задачі

$V_{\text{пор}} = ?$

об'ємом кулі ($V_{\text{к}}$) — куля суцільна. Якщо $V > V_{\text{к}}$ — куля має порожнину. Зрозуміло, об'єм порожнини: $V_{\text{пор}} = V - V_{\text{к}}$.

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

$$\text{числові значення: } V = \frac{0,565 \text{ кг}}{11300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

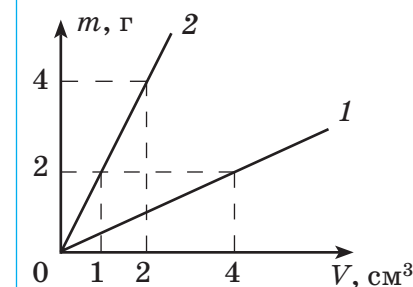
Як бачимо, $V > V_{\text{к}}$ — куля має порожнину $V_{\text{пор}} = V - V_{\text{к}}$,

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

Відповідь: 10 см^3 .

Вправа 11

1. Із двох тіл однакового об'єму друге має в 7 разів меншу масу, ніж перше. У якого тіла маса одиниці об'єму речовини більша й у скільки разів?
2. Об'єм металевого виробу 50 см^3 , а його маса 355 г . Обчисліть густину цього металу. Який метал має таку густину?
3. Яка густина рідини, 125 л якої мають масу 100 кг ?
4. Обчисліть масу тіла, об'єм якого 250 см^3 , а густина речовини, з якої його виготовлено, дорівнює $11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
5. Об'єм залізної деталі 750 дм^3 . Визначте масу деталі.
6. Посудина, яку наповнили бензином, має масу 2 кг . Ця сама посудина без бензину має масу 600 г . Визначте місткість посудини.
7. Маса срібної фігурки 707 г , а її об'єм $0,7 \text{ дм}^3$. Визначте, чи суцільна ця фігурка.
8. Скільки молекул міститься в 1 м^3 води, якщо маса однієї молекули $3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$?
- 9*. Алюмінієвий циліндр масою $1,35 \text{ кг}$ повністю занурили в посудину, до країв наповнену спиртом. Якою є маса спирту, що вилився?
- 10*. Визначте масу порожнистого куба, виготовленого з латуні, якщо товщина стінок — 2 см , а довжина ребра 8 см .
- 11*. Яка довжина мідного дроту, змотаного в моток із середнім діаметром $0,5 \text{ м}$, якщо маса дроту становить 22 кг , а діаметр дроту — 2 мм ? Скільки приблизно витків дроту в мотку?
- 12*. На малюнку 97 показані залежності маси від об'єму для двох рідин. Визначте об'єм суміші, яка складається з 12 г першої рідини і 10 г другої. Зміну об'єму суміші не враховувати.



Мал. 97. Залежності маси від об'єму для двох рідин

13*. У посудині, маса якої 150 г, міститься 75 мл води. У посудину опустили п'ять однакових тіл (вода з посудини при цьому не виливається). Загальна маса посудини з водою і тілами стала 310 г. Визначте об'єм кожного тіла, якщо густина речовини, з якої вони виготовлені, — $4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

№ 7

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ (ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН)

- ▶ **Мета роботи:** навчитись визначати густину речовини.
- ▶ **Обладнання:** важільні терези, набір важків, мензурка, лінійка, скляна посудина, брусок, тіло неправильної форми, посудина з рідиною невідомої густини.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Виміряйте лінійні розміри бруска та обчисліть його об'єм. Зважте брусок. Визначте густину речовини, з якої виготовлено брусок. Порівняйте її з табличними значеннями густин. Визначте, з якої речовини виготовлено брусок.
2. Зважте тіло неправильної геометричної форми. За допомогою мензурки у відомий вам спосіб визначте об'єм цього тіла. Визначте густину речовини. За табличними значеннями визначте, з якої речовини виготовлено тіло.
3. Налийте в мензурку рідину, густину якої треба визначити. Виміряйте її об'єм. У відомий вам спосіб визначте масу рідини. Обчисліть значення густини даної рідини.
4. Зробіть висновок.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначити густину тіла можна і в домашніх умовах. Для цього вам будуть потрібні — новий шматок мила, картоплина, пружинні ваги, мірний стакан (або склянка з водою і шприц).

Для визначення густини мила вам потрібно виміряти його лінійні розміри та масу. Порівняйте отримане вами значення маси з тим, що вказане на обгортці. Виміряйте масу картоплини за допомогою пружинних ваг. За допомогою мірного стакана виміряйте її об'єм. Якщо немає мірного стакана, можна застосувати такий спосіб: набрати повну склянку води, поставити її в миску. Опустити в склянку картоплину. Шприцом виміряти воду, яка вилілась у миску. Або використати мензурку, яку ви самостійно виготовили під час попередніх домашніх досліджень. Обчисліть густину картоплини.

§ 16. СИЛА

▶ **Ви дізнаєтесь**
Що таке сила

▶ **Пригадайте**
Як поводить себе тіло, якщо на нього не діють інші тіла
Як поведуть себе тіла, якщо вони діють одне на одне

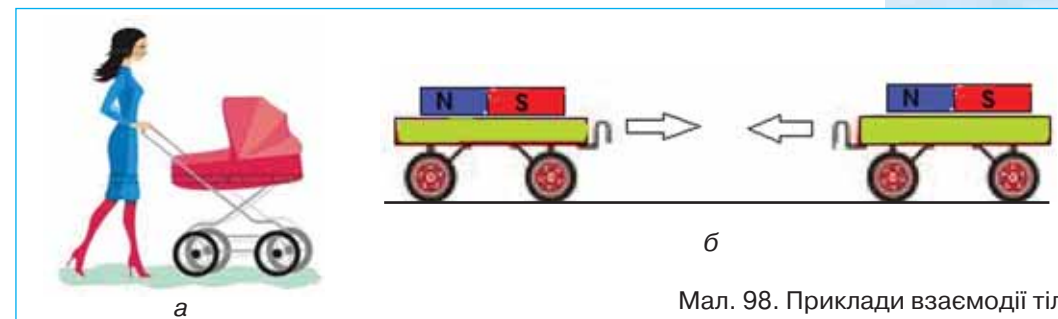
ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. Якщо на тіло не діють інші тіла, воно зберігає свою швидкість сталою. Відповідно, щоб тіло змінило свою швидкість, необхідний вплив іншого тіла.

До того ж практичний досвід підтверджує, що вплив одного тіла на інше не може бути одностороннім — обидва тіла діють одне на одне, як кажуть, — взаємодіють.

Дію тіл одне на одне називають взаємодією тіл.

Усі тіла так чи інакше пов'язані між собою і діють одне на одне або безпосередньо (під час контакту одне з одним), або через різні поля.

Розглянемо випадки взаємодії тіл (мал. 98, а, б).

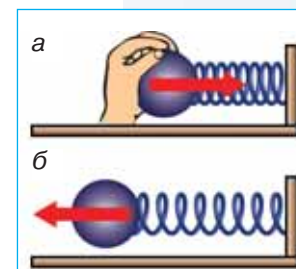


Мал. 98. Приклади взаємодії тіл

Штовхаючи дитячий візок (мал. 98, а), його приводять у рух. У цьому разі швидкість руху дитячого візка змінюється під дією натиску руки людини.

Якщо на легкокорухомі візочки покласти магніти, то їх взаємне притягання зумовить рух візочків один до одного (мал. 98, б). Це приклад взаємодії тіл через магнітне поле.

Під дією руки на кульку (мал. 99, а) пружина стискається, тобто спочатку кінець її приходить у рух, а потім рух передається іншим частинам пружини. Якщо відпустити кульку, то стиснута пружина, розпрямляючись, приводить у рух кульку у зворотному напрямі (мал. 99, б). Спочатку діючим на кульку тілом була рука людини, потім діючим тілом стала пружина.



Мал. 99. Рух кульки

СИЛА. У фізиці часто не зазначають, яке тіло і як саме діє на дане тіло, а говорять, що на тіло діє *сила*, або до тіла прикладена сила.

Слово «сила» вам добре відоме, і використовуєте ви його досить часто: сила м'язів, сила вітру, сила-силенна знайомих, сильний характер, сильний духом.

Фізичний термін «сила» означає фізичну величину, яка характеризує інтенсивність взаємодії між тілами.

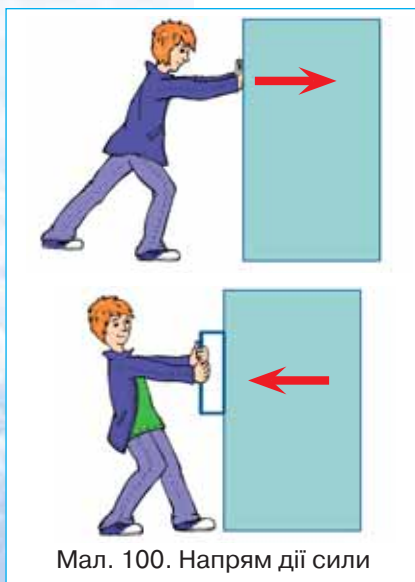
Сила — фізична величина, яка характеризує взаємодію тіл.

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

Отже, можна стверджувати, що *результатом дії сили є зміна швидкості руху тіла* (або за значенням, або за напрямом, або разом за значенням і напрямом).

Але сила, що діє на тіло, може не лише змінювати швидкість руху тіла, а й змінювати взаємне розташування частин цього тіла. Наприклад, під дією сили відбувається стискання пружини (див. мал. 99), згин пружного сталюого стержня та інші зміни форми й розмірів тіла. У такому разі говорять, що тіло *деформується*.

Деформація — будь-які зміни форми й розмірів тіла.



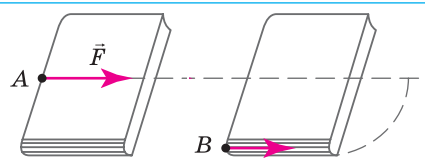
Мал. 100. Напрямок дії сили

Отже, ще одним *результатом дії сили на тіло є його деформація*.

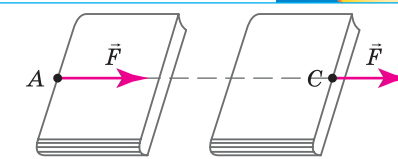
Сила — векторна величина. Позначається сила великою латинською літерою \vec{F} . Одиницею сили є **ньютон** (1 Н).

У кожен момент часу сила, що діє на тіло, характеризується модулем і напрямом у просторі. Наприклад, щоб зрушити шафу, її можна штовхати або тягнути (мал. 100). Прикладена сила за значенням в обох випадках однакова (сила м'язів людини), а результат дії сили різний: шафа переміщується в різних напрямках.

На відміну від векторних величин, з якими ви ознайомились (переміщення, швидкість), сила, окрім значення і на-



Мал. 101.
Результат дії сили залежить від місця її прикладання



Мал. 102. Дія сили не змінюється, якщо точку прикладання переносити вздовж лінії дії сили

пряму, характеризується точкою прикладання. Що це означає?

Розглянемо приклад. Якщо рухати книжку по столу (мал. 101), то результат цієї дії залежить від того, до якого місця книжки прикладена сила. Не зважаючи на те, що значення і напрямки сили однакові, — результат різний: у першому випадку книжка рухається поступально, у другому — обертається.

Проте, якщо точку прикладання сили \vec{F} перенести з точки А в точку С, що лежить на продовженні прямої, уздовж якої діє сила (лінії дії сили), то результат дії сили не зміниться (мал. 102). Досліди свідчать, що *дія сили не змінюється, якщо точку прикладання переносити вздовж лінії дії сили*.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Під *взаємодією* в механіці розуміють ті дії тіл одне на одне, результатом яких є зміна руху цих тіл або їх деформація.

Сила — фізична величина, яка характеризує взаємодію.

Результат дії сили на тіло залежить від її модуля, напрямку і точки прикладання.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що є наслідком механічної взаємодії тіл?
2. Що характеризує механічну взаємодію тіл?
3. Що таке сила? Які її основні характеристики?



Поясніть

1. Пташка, яка сиділа на гілці, спурхнула і полетіла вгору. Куди, у який момент і чому відхилилася гілка?

§ 17. СИЛА ТЯЖІННЯ

► Ви дізнаєтесь

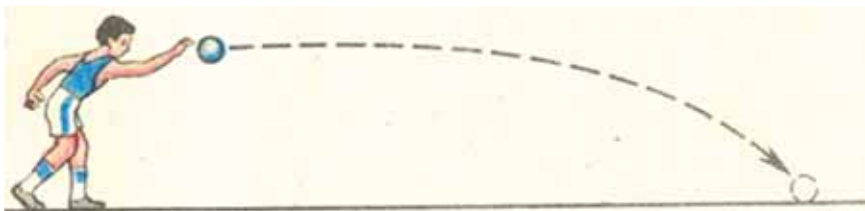
Що таке всесвітнє тяжіння
Що таке сила тяжіння
Як визначити силу тяжіння
Що таке прискорення вільного падіння

► Пригадайте

Що таке сила
Від чого залежить результат дії сили

ЗЕМНЕ ТЯЖІННЯ. Якщо підкинути вгору м'яч, то він згодом падає вниз. Краплини дощу, сніжинки падають на землю. Те саме відбувається з будь-якими тілами. Чому ж так відбувається?

Давайте розглянемо, як себе поводить м'яч, кинутий горизонтально (мал. 103).



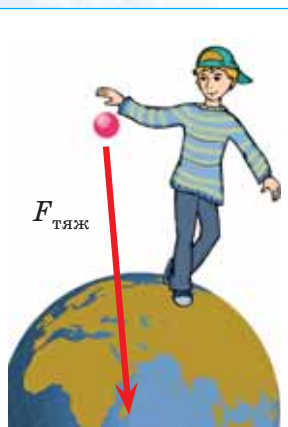
Мал. 103. Траєкторія руху м'яча, кинутого горизонтально

Кинутий м'яч, рухаючись по кривій лінії, врешті-решт падає на землю. А як ви вже знаєте, у тіл, що рухаються криволінійною траєкторією, змінюється напрям швидкості (пригадайте рух по колу). У нашому випадку змінюється ще і значення швидкості. Якщо пригадати означення сили, за яким сила змінює швидкість руху тіла, то можна зробити висновок, що на м'яч діє сила, напрямлена до Землі. Земля притягує до себе всі тіла: людей, воду морів, океанів і річок, будинки, Місяць, Сонце, супутники тощо.

Силу, з якою Земля притягує до себе тіло, називають силою тяжіння.

Позначається сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$. Точкою прикладання сили тяжіння є певна точка всередині тіла, на яке вона діє. Направлена сила тяжіння до центра Землі (мал. 104).

Експериментами встановлено, що сила тяжіння пропорційна масі тіла і визначається за формулою: $F_{\text{тяж}} = gm$, де g — коефіцієнт пропорційності, який має спеціальну назву — *прискорення вільного падіння*.



Мал. 104. Напрямок дії сили тяжіння

ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ ТІЛ. Падіння тіла вертикально вниз відбувається під дією сили земного тяжіння. Окрім цієї сили, на тіло діє сила опору повітря, напрямлена вертикально вгору. Якщо ці сили рівні між собою, то тіло буде рухатись рівномірно із постійною швидкістю. Таким, наприклад, є рух парашутиста з відкритим парашутом (мал. 105, а).

Якщо ж сила опору мала, і сила тяжіння набагато більша, то падіння тіла не буде рівномірним. Унаслідок дії земного тяжіння швидкість тіла буде весь час збільшуватись. Таким, наприклад, був рух парашутиста на початку стрибка (мал. 105, б).

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

Для експериментального дослідження вільного падіння використовують трубку, з якої можна викачувати повітря (її ще називають трубкою Ньютона) (мал. 106).

Не відкачуючи повітря, помістимо у трубку пир'їну, корок та металеву кульку. Якщо трубку поставити вертикально, то всі три предмети впадуть не одночасно (мал. 106, а).

Якщо ж викачати із трубки повітря і повторити дослід, — то всі три предмети впадуть одночасно (мал. 106, б)!

Відбувається це тому, що під дією однієї лише сили тяжіння швидкість усіх без винятку падаючих тіл за кожен секунду збільшується на одне і те ж число, а саме — на 9,8 м/с. Таку зміну швидкості за секунду для вільно падаючих тіл і назвали прискоренням вільного падіння.

Середнє значення прискорення вільного падіння $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ (під час розв'язування задач для спрощення розрахунків інколи беруть $g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$).

ВСЕСВІТНЄ ТЯЖІННЯ. Англійський учений І. Ньютон зробив велике відкриття. Він перший зрозумів, що такі явища, як падіння тіл на Землю, рух Місяця навколо Землі, рух планет навколо Сонця та інші, відбуваються під дією сил всесвітнього притягання, які називають *гравітаційними*. Між усіма фізичними тілами діє сила *взаємного притягання*!



а



б

Мал. 105. Рух парашутиста: а) рівномірний, б) прискорений



а

б

Мал. 106. Падіння тіл: а) у повітрі; б) у вакуумі

Встановлено, що сили притягання між тілами тим більші, чим більші маси тіл. Відомо також, що сили притягання зменшуються, якщо збільшується відстань між взаємодіючими тілами.

Отже, не тільки Земля притягує до себе тіла. Але й ці тіла притягують до себе Землю. Наприклад, притягання з боку Місяця спричинює на Землі припливи і відпливи води, величезні маси якої піднімаються в океанах і морях двічі за добу на висоту декількох метрів.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Силу, з якою Земля притягує до себе тіло, називають *силою тяжіння*.

Сила тяжіння пропорційна масі тіла і визначається за формулою: $F_{\text{тяж}} = gm$, де g — коефіцієнт пропорційності, називається прискоренням вільного падіння. Точкою прикладання сили тяжіння є певна точка всередині тіла, на яке вона діє. Напрявлена сила тяжіння до центра Землі.

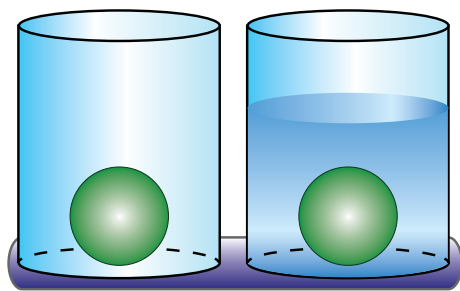
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Що таке сила тяжіння? За якою формулою визначають модуль сили тяжіння?
2. Куди прикладена і як напрямлена сила тяжіння, що діє на довільне тіло?
3. Який вид взаємодії тіл описується законом всесвітнього тяжіння?

Поясніть

1. Яблуко, що падає з дерева, набуває швидкості завдяки притяганню до Землі. А чи набуває швидкості Земля внаслідок притягання до яблука?
2. Поясніть, чи однакова сила тяжіння діє на однакові кулі, одна з яких міститься у воді (мал. 107).



Мал. 107. Чи однакова сила тяжіння?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. Визначте силу тяжіння, що діє на каністру з бензином. Об'єм каністри 25 л. Маса порожньої каністри 5 кг. Густина бензину $\rho = 710 \text{ кг/м}^3$.

Дано:	СІ	<i>Розв'язання</i>
$V = 25 \text{ л}$	10^{-3} м^3	Щоб визначити силу тяжіння за формулою $F = mg$, треба спершу визначити загальну масу каністри з бензином.
$\rho = 710 \text{ кг/м}^3$		Масу бензину визначимо за співвідношенням: $m_1 = \rho V$. Тоді загальна маса каністри з бензином
$g = 9,8 \text{ Н/кг}$		$m = m_0 + \rho V$.
$m_0 = 5 \text{ кг}$		
$F = ?$		

Формула для визначення сили тяжіння набуває вигляду:

$$F = (m_0 + \rho V)g$$

Підставляємо числові значення:

$$F = (5 \text{ кг} + 710 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3) \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \approx 223 \text{ Н}.$$

Відповідь: $\approx 223 \text{ Н}$.

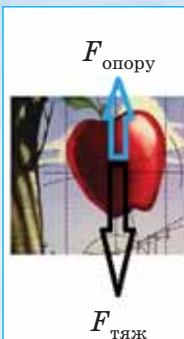
Вправа 12

1. Обчисліть силу тяжіння, що діє на тіло масою 6 кг. У масштабі 1 см — 10 Н побудуйте цю силу.
2. З якою силою діє хлопчик на підлогу, коли тримає в руках повне п'ятилітрове відро з водою? Маса хлопчика становить 43 кг, маса порожнього відра — 2 кг.
3. Яка сила тяжіння діє на алюмінієвий кубик із ребром завдовжки 10 см?
4. Маємо два однакові за розмірами кубики — один алюмінієвий, інший — олов'яний. На який із них діє більша сила тяжіння й у скільки разів?

§ 18. РІВНОДІЙНА СИЛ

► Ви дізнаєтесь

Що таке рівнодійна сил
Як додавати сили



Мал. 108.
Рух тіла під дією двох сил

РІВНОДІЙНА ДЕКИЛЬКОХ СИЛ. Здебільшого на тіло діє не одна, а відразу декілька сил. Наприклад, при падінні тіла одночасно діє сила тяжіння і сила опору повітря (мал. 108).

У кожному такому випадку можна замінити кілька сил, справді прикладених до тіла, однією силою, яка за своєю дією є рівнозначною цим силам.

Рівнодійною сил називають силу, яка чинить на тіло таку само дію, як кілька одночасно діючих сил.

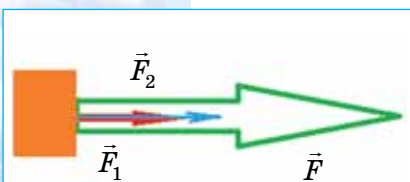
Як ви вже знаєте, сила, прикладена до тіла, є причиною зміни швидкості тіла. Щоб знати, як буде рухатись тіло в тому разі, коли на нього одночасно діє кілька сил, треба знати, куди буде напрямлена і яке матиме значення рівнодійна цих сил.

ДОДАВАННЯ СИЛ, НАПРЯМЛЕНИХ ПО ОДНІЙ ПРЯМІЙ.

Розглянемо випадок, коли дві сили, що діють на тіло, напрямлені в один бік.

Припустимо, що вам треба зрушити з місця важку шафу. І якщо одній людині це не під силу, то за справу беруться двоє і штовхають шафу в один бік. Зусилля в цьому разі додаються. Сили, які додаються, інакше називають *складовими силами*.

Рівнодійна двох сил, напрямлених по одній прямій в один бік, напрямлена в той самий бік, а її модуль дорівнює сумі модулів складових сил: $F = F_1 + F_2$ (мал. 109).



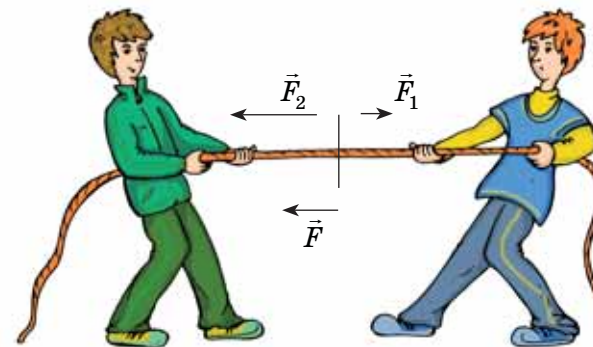
Мал. 109. Додавання двох сил, напрямлених по одній прямій в один бік

З'ясуємо, як визначити рівнодійну сил, що діють уздовж однієї прямої, але напрямлені в різні боки.

Вам у школі на уроках фізкультури доводилося перетягувати канат. Під час цієї вправи середина канату, на якій зафіксовано прапорець (мал. 110) буде переміщатись у бік дії більшої сили. Модуль рівнодійної сили в цьому разі дорівнює різниці складових сил.

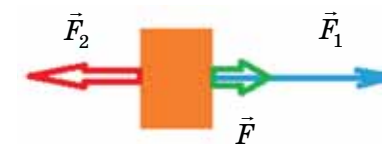
► Пригадайте

Як графічно зображують сили



Мал. 110. Рівнодійна сил, напрямлених по одній прямій у протилежні боки

Рівнодійна двох сил, напрямлених по одній прямій у протилежні боки, напрямлена в бік більшої за модулем сили, а її модуль дорівнює різниці модулів складових сил: $F = F_2 - F_1$, (якщо $F_2 > F_1$) (мал. 111).



Мал. 111. Визначення рівнодійної двох сил, напрямлених по одній прямій у протилежні боки

Якщо напрям руху тіла співпадає з напрямом рівнодійної сил, то швидкість руху тіла збільшується. У випадку, коли напрям руху тіла протилежний напрямку результуючої сили, тіло зменшує швидкість.

Якщо до тіла прикладено дві однакові й напрямлені в протилежні боки сили, то рівнодійна цих сил дорівнює нулю і тіло перебуватиме в спокої або рухатиметься рівномірно й прямолінійно.

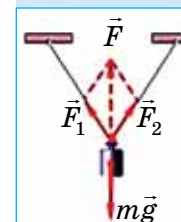
РІВНОВАЖНІ СИСТЕМИ. Сили можуть зрівноважувати одна одну не лише тоді, коли вони діють уздовж однієї прямої, але й у більш складних випадках. На мал. 112 показано випадок, коли на тіло діє декілька сил, напрямлених у різних напрямках, які зрівноважують одна одну. Тіло при цьому перебуває у стані рівноваги.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Рівнодійна двох сил, напрямлених по одній прямій:

а) *в один бік*, напрямлена в той самий бік, а її модуль дорівнює сумі модулів складових сил: $F = F_1 + F_2$;

б) *у протилежні боки*, напрямлена в бік більшої за модулем сили, а її модуль дорівнює різниці модулів складових сил: $F = F_2 - F_1$, (якщо $F_2 > F_1$).



Мал. 112.
Складні системи у стані рівноваги

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



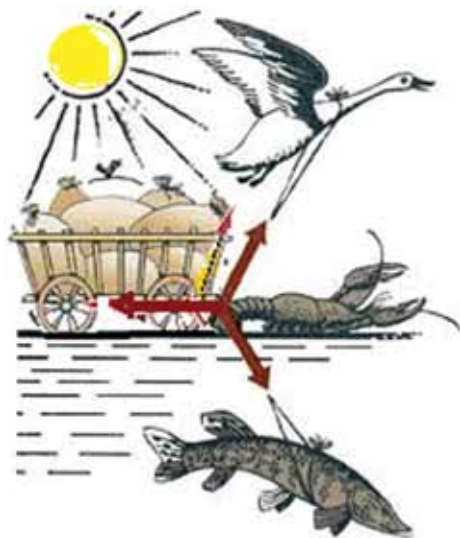
Дайте відповідь на запитання

1. Наведіть приклади дії на тіло декількох сил
2. Що називають рівнодійною сил?
3. Як визначити рівнодійну двох сил, напрямлених по одній прямій в один бік?
4. Як визначити рівнодійну двох сил, напрямлених по одній прямій у протилежні боки?
5. За якої умови тіло перебуватиме в спокої або рухатиметься рівномірно й прямолінійно?



Поясніть

1. Прочитайте байку Л. Глібова. Поясніть, чому героям байки не вдається зсунути хуру з місця (мал. 113).



Мал. 113. Чому не вдається зсунути хуру з місця?

У товаристві лад — усяк тому радіє;
 Дурне безладдя лихо діє,
 І діло, як на гріх,
 Не діло — тільки сміх.
 Колись-то Лебідь, Рак та Щука
 Приставить хуру узялись.
 От троє разом запряглись,
 Смикнули — катма ходу...
 Що за морока? Що робить?
 А й не велика, бачся, штука,—
 Так Лебідь рветься підлетіть,
 Рак упирається, а Щука тягне в воду.
 Хто винен з них, хто ні — судить не нам,
 Та тільки хура й досі там.

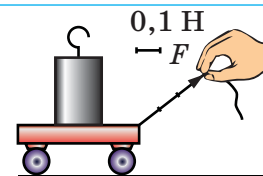
2. За ілюстрацією (мал. 114) до казки про ріпку самостійно складіть і розв'яжіть задачу.



Мал. 114. Складіть і розв'яжіть задачу

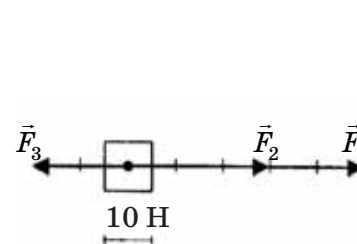
Вправа 13

1. За малюнком 115 визначте силу натягу нитки.

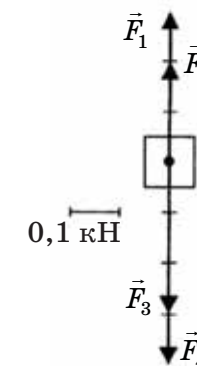


Мал. 115. Визначте силу натягу нитки

2. На тіло вздовж однієї прямої діють сили 3; 4; 5 Н. Чи може рівнодійна цих сил дорівнювати 1; 2; 3; 4; 6; 10; 12; 15 Н?
3. До тіла вздовж однієї прямої прикладені три сили, що дорівнюють відповідно 20 Н, 30 Н і 50 Н. Чому може дорівнювати рівнодійна цих сил? Спробуйте знайти всі можливі варіанти. Відповідь поясніть за допомогою малюнка.
4. На малюнку 116 зображено сили, що діють на тіло (випадок 1 і випадок 2). Визначте в кожному випадку: а) модулі сил; б) величину і напрям рівнодійної сил; в) охарактеризуйте рух тіла.



Вип. 1



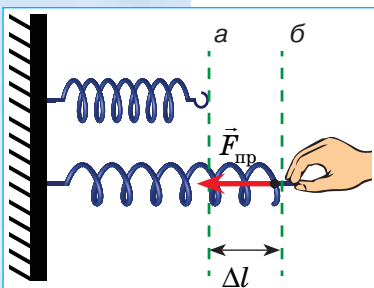
Вип. 2

Мал. 116. Сили, що діють на тіло

§ 19. СИЛИ ПРУЖНОСТІ

► Ви дізнаєтесь

Що таке сила пружності
Які бувають види деформації
Що встановлює закон Гука



Мал. 117. Зовнішня сила зумовлює деформацію, а деформація зумовлює силу пружності, яка напрямлена протилежно до зовнішньої сили

► Пригадайте

Що є результатом дії сили
Що таке деформація

ПРИРОДА СИЛ ПРУЖНОСТІ. Як відомо (див. § 16), взаємодія тіл може зумовлювати не тільки зміну їх швидкостей, а й деформацію.

Наприклад, закріпимо один кінець пружини до стіни, а до другого будемо прикладати зовнішню силу \vec{F} (мал. 117).

Під дією цієї сили \vec{F} частини пружини починають рухатись і зміщуються відносно їх початкового положення. Пружина деформується. При цьому виникає сила, яка намагається повернути пружину в початковий (недеформований стан). Цю силу називають силою пружності $\vec{F}_{\text{пр}}$. Чим сильніше тягнути

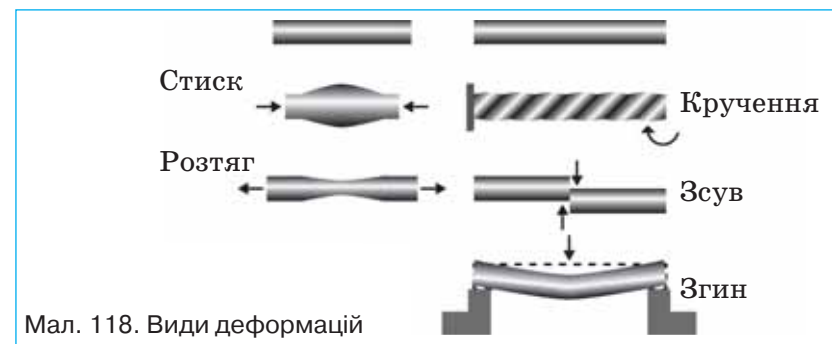
за кінець пружини, тим більша сила пружності. У випадку, зображеному на мал. 117, б, прикладена сила \vec{F} , яка утримує пружину у деформованому стані, урівноважується силою пружності $\vec{F}_{\text{пр}}$. Обидві сили прикладені до тіла і спрямовані в протилежних напрямках. У стані рівноваги пружини їхня рівнодійна дорівнює нулю.

Сила пружності — це сила, що виникає під час деформації тіла і намагається повернути тіло в початковий стан.

Сила пружності (сила реакції опори, натягу нитки) розподілена по всьому тілу і залежить від його деформації.

ПРУЖНІ ДЕФОРМАЦІЇ. Дослідимо властивості сил пружності в тілах, які зазнають значних деформацій при дії на них зовнішніх сил (пружини, гумові джгути тощо).

Серед деформацій, які виникають у твердих тілах, можна виділити п'ять основних видів: розтяг, стиск, зсув, кручення і згин (мал. 118). Деформації поділяють на **пружні**, які зникають після припинення дії зовнішніх сил (оскільки молекули тіла розташовуються в початковому положенні), та **пластичні**, коли відновлення форми тіла не відбувається.



Мал. 118. Види деформацій

Надалі будемо розглядати пружні деформації розтягу (стиску).

ЗАКОН ГУКА. Для пружних деформацій розтягу (стиску) англійським ученим Р. Гуком у 1660 р. експериментально був встановлений закон, який названо його ім'ям. На малюнку 119 подані результати досліду щодо вивчення залежності видовження пружини від величини прикладеної сили.

Коли до пружини підвісити один тягарець, то внаслідок дії земного тяжіння він рухається вниз і розтягує пружину до тих пір, поки сила тяжіння не врівноважиться силою пружності, що виникає у пружині. Збільшуючи кількість тягарців, спостерігаємо, що у скільки разів збільшується прикладена сила, у стільки ж разів збільшується і видовження пружини.

Отже, чим більшу силу прикладено до тіла, тим більше воно деформується. Разом з тим, чим більшою є деформація, тим більша сила пружності виникає в тілі, тобто *сила пружності пропорційна деформації*.

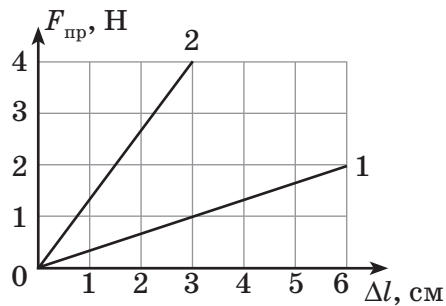
Закон Гука: сила пружності, яка виникає під час пружної деформації тіла, прямо пропорційна видовженню тіла (Δl) і напрямлена в бік, протилежний до напрямку переміщень частинок тіла під час деформації.

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

де k — *коефіцієнт пружності*, або *жорсткість*, його значення залежить від розмірів і матеріалу тіла, вимірюється в ньютонках на метр $\left(1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$;



Мал. 119. Залежність сил пружності від деформації



Мал. 120. Графіки залежності сили пружності від видовження

Δl — абсолютна деформація (видовження чи стиснення тіла).

Знак «-» показує, що напрям сили пружності протилежний напрямку зміщення краю деформованого тіла.

На малюнку 120 зображено графічну залежність сили пружності від видовження тіла.

Аналізуючи графіки, бачимо, що жорсткість першого тіла

$$k_1 = \frac{F}{\Delta l} = \frac{2 \text{ Н}}{6 \text{ см}} \approx 0,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

а другого —

$$k_2 = \frac{F}{\Delta l} = \frac{4 \text{ Н}}{3 \text{ см}} \approx 1,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Тобто, чим крутіше вгору спрямований графік, тим більша жорсткість тіла, тим сильніше воно протидіє деформації.

ВИМІРЮВАННЯ СИЛ. На законі Гука ґрунтується дія приладів для вимірювання сили — **динамометрів** (або синометрів).

Конструкції динамометрів досить різноманітні (мал. 121), але принцип їх роботи однаковий: у них використано властивість тіл подовжуватися, згинатися чи стискатися в разі пружної деформації прямо пропорційно до величини прикладеної сили.



Мал. 121. Конструкції динамометрів

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Сила пружності — це сила, що виникає під час деформації тіла і намагається повернути тіло в початковий стан.

Деформації бувають *пружні* й *пластичні*.

Для пружної деформації розтягу (стиску) виконується **закон Гука**: сила пружності, яка виникає під час пружної деформації тіла, прямо пропорційна видовженню тіла (Δl) і напрямлена в бік, протилежний до напрямку переміщень частинок тіла під час деформації: $F_{\text{пр}} = -k\Delta l$.

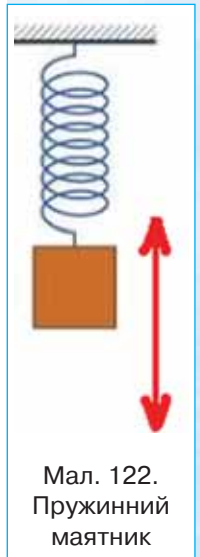
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Унаслідок чого з'являється сила пружності? Яка природа цієї сили?
2. Що таке деформація? За яких умов виникають деформації тіл?
3. Яку деформацію називають пружною, а яку — пластичною? Назвіть види деформації.
4. Як формулюється і записується закон Гука? Що означає знак «мінус» у формулі закону Гука?

Поясніть

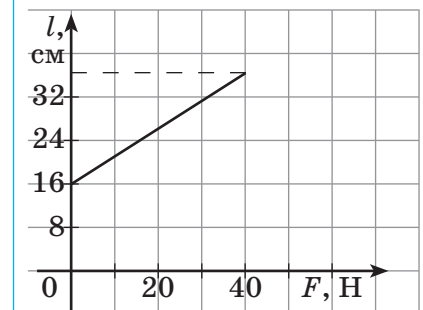
1. Чи завжди при збільшенні сили, яка розтягує тіло, у стільки ж разів збільшується його деформація?
2. Тягарець вертикального пружинного маятника здійснює коливання (мал. 122). Взаємодією яких тіл зумовлюється його рух униз; угору?



Мал. 122. Пружинний маятник

Вправа 14

1. При розтягуванні пружини на 6 см виникає сила пружності 1,8 Н. Яка сила виникає внаслідок розтягування цієї пружини на 2,5 см?
2. Щоб стиснути пружину на 6 см, треба прикласти силу 120 Н. Яку силу треба прикласти до пружини, щоб стиснути її на 4,5 см?
3. До пружини, один кінець якої закріплено в штативі, підвісили вантаж. При цьому пружина видовжилася на 4 см. Якою є маса вантажу, якщо жорсткість пружини становить 200 Н/м?
4. На малюнку 123 наведено графік залежності довжини пружини від значення сили, що розтягує пружину. Яка сила пружності виникає в пружині, якщо вона видовжена на 12 см; 17 см?
5. Щоб пружина видовжилася до 15 см, потрібно прикласти силу 45 Н, а до 18 см — 72 Н. Визначте довжину пружини в недеформованому стані.



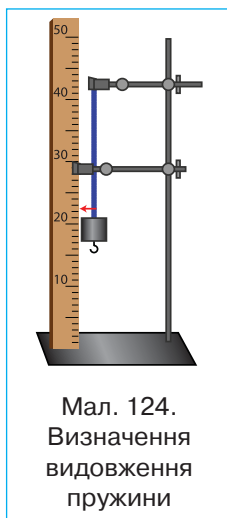
Мал. 123. Яка сила пружності виникає в пружині?

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ТІЛ

- **Мета роботи:** за даними дослідів встановити залежність видовження пружини від прикладеної до неї сили; побудувати графік залежності видовження пружини від прикладеної до неї сили.
- **Обладнання:** пружина (наприклад, динамометр); штатив; набір тягарців відомої маси; лінійка з міліметровими поділками або міліметровий папір.

Вказівки
щодо виконання роботи

1. Закріпіть на штативі кінець спіральної пружини, що має стрілку-показчик і гачок для підвішування тягарців.
2. Поряд із пружиною встановіть лінійку чи міліметровий папір (мал. 124).
3. Відмітьте положення стрілки-показчика.
4. Підвісьте до пружини тягарець і виміряйте спричинене ним видовження пружини Δl . Результат вимірювання запишіть у таблицю.

Мал. 124.
Визначення
видовження
пругини

Номер дослідів	m , кг	$F = mg$, Н	Δl , м	$k = \frac{F}{\Delta l}$, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

6. До першого тягарця додайте другий, третій і т. д. Запишіть дані в таблицю і виконайте необхідні обчислення.
7. Побудуйте графік залежності видовження пружини Δl від прикладеної до неї сили F .
8. Зробіть висновок щодо значення відношення $k = \frac{F}{\Delta l}$ для пружини.

§ 20. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ.

- **Ви дізнаєтесь**
Що таке вага тіла
Що таке невагомність

- **Пригадайте**
Що таке сила тяжіння
Що таке сила пружності

ЩО ТАКЕ ВАГА ТІЛА? У повсякденному житті досить часто використовують термін «вага». Ми говоримо «вага тіла», «вага продуктів», хоча при цьому мається на увазі маса тіла. У фізиці терміни «маса» і «вага» означають різні фізичні величини.

Розглянемо тіло, що підвішене до динамометра. На саме тіло діє сила тяжіння і сила пружності пружини динамометра. Тому тіло перебуває у стані рівноваги. Але й розтягнута пружина динамометра перебуває у стані рівноваги, незважаючи на те, що сила пружності, яка в ній виникла, намагається повернути її в початковий стан. Отже, тіло, яке перебуває під дією сили тяжіння, теж діє на пружину з деякою силою.

Силу, з якою тіло, що перебуває під дією сили тяжіння, діє на опору (або підвісі), називають вагою тіла.

Таким чином, на крючок динамометра діють дві сили: сила пружності пружини та вага тіла.

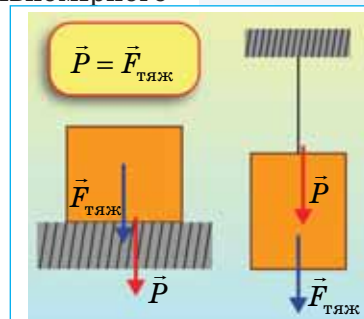
Вага, як і будь-яка сила, — векторна величина. Вагу тіла позначають літерою P . Вага тіла і сила пружності мають протилежні напрями, при цьому модулі цих сил рівні: $P = F_{\text{пр}}$.

Саме тому говорять, що динамометром можна визначити не тільки силу пружності, а й вагу тіла. Динамометр ще називають *пружинними вагами*.

ВАГА ТІЛА ТА СИЛА ТЯЖІННЯ. Вага тіла виникає внаслідок тяжіння до Землі й залежить від стану руху тіла.

Якщо тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, то вага тіла за числовим значенням дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло: $P = F_{\text{тяж}}$, або $P = mg$.

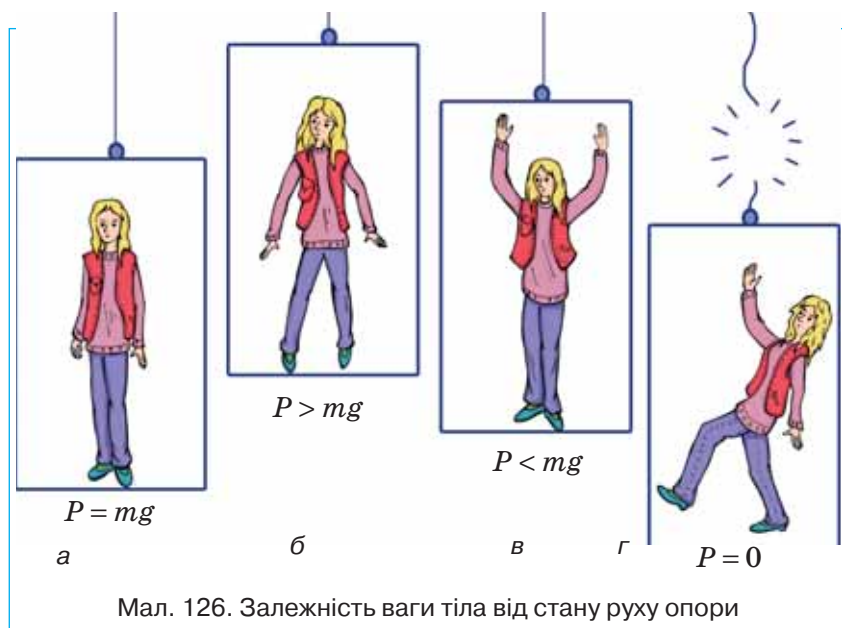
При цьому слід пам'ятати, що сила тяжіння і вага тіла мають різну фізичну природу: сила тяжіння виникає внаслідок взаємного притягання тіла і Землі, а вага — внаслідок взаємодії тіла й опори. Саме тому точка прикладання сили тяжіння міститься на тілі, а точка прикладання ваги — на опорі (або підвісі) (мал. 125).

Мал. 125. Точки прикладання
сили тяжіння і ваги

ВАГА ТІЛА І МАСА. Одиницею ваги, як і будь-якої сили, є **ньютон**. Одиницею маси є **кілограм**. Маса — скалярна величина. Вага — векторна величина. Так, тіло масою 20 кг має вагу 200 Н (вважаючи, що $g \approx 10$ Н/кг), якщо воно перебуває на горизонтальній опорі. Але тіло масою 20 кг може мати вагу, більшу за 200 Н, меншу за 200 Н, або й взагалі не мати ваги. З'ясуємо, коли таке можливо.

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВАГИ ВІД УМОВ, У ЯКИХ ПЕРЕБУВАЄ ТІЛО. Вага тіла дорівнює за числовим значенням силі тяжіння, якщо тіло перебуває на нерухомій горизонтальній опорі або опора рухається рівномірно і прямолінійно.

Якщо ж опора разом із тілом рухається вертикально (тобто вгору або вниз) нерівномірно, то тіло тисне на опору з більшою або меншою силою порівняно із рівномірним рухом (мал. 126).



Мал. 126. Залежність ваги тіла від стану руху опори

Розглянемо малюнок 126. У випадку *a* швидкісний ліфт рухається рівномірно, отже, вага тіла за модулем дорівнює силі тяжіння. У випадку *б* — ліфт різко стартує вгору, у цей момент вага тіла перевищує силу тяжіння — і ви відчуваєте, як у вас згинаються коліна і вас притискує до підлоги ліфта. У випадку *в* — при старті ліфта вниз ви відчуваєте легкість. Це можна перевірити на власному досвіді: проїхавши в ліфті, стоячи на терезах.

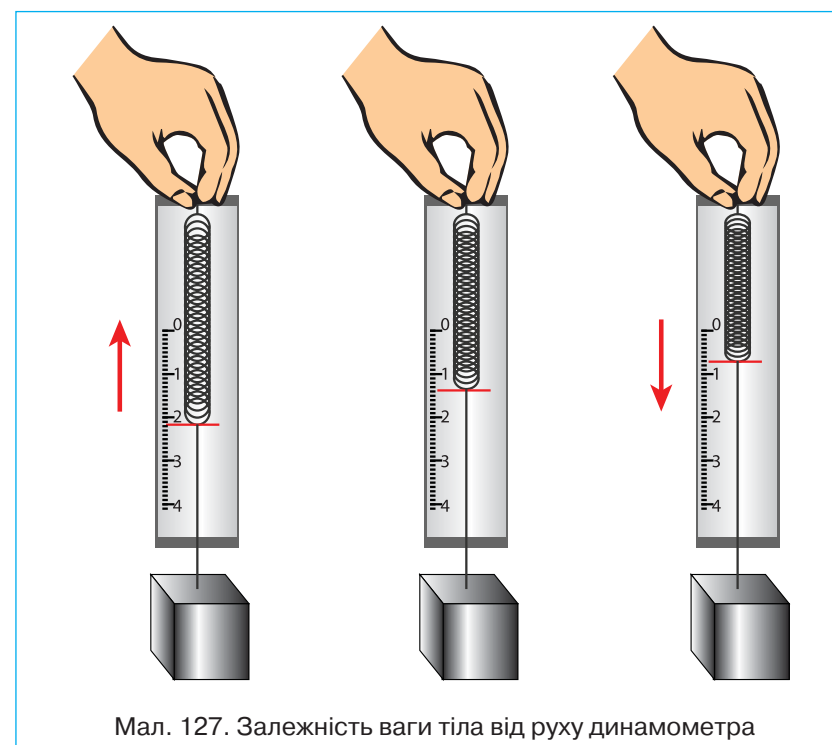
НЕВАГОМІСТЬ. Якщо припустити, що ліфт під час руху вниз буде з кожною секундою збільшувати швидкість на 9,8 м/с (тобто перебувати у стані вільного падіння), то ваше тіло не буде тиснути на підлогу ліфта і ваша вага дорівнюватиме нулю. Звичайно, це на досліді перевірити не слід. Самостійно перевірити, як змінюватиметься вага тіла залежно від стану руху опори, можна за допомогою динамометра (мал. 127).

Отже, якщо опора чи підвіс вільно падають разом із тілом, то кажуть, що вони перебувають у стані **невагомості**. У цьому разі вага тіла дорівнює нулю. Не забуваймо, що сила тяжіння при цьому не дорівнює нулю, адже внаслідок саме її дії тіло й опора падають.

Якщо штучний супутник або космічна станція обертається навколо Землі, то сама станція, космонавти й усі предмети всередині весь час перебувають у стані невагомості.

Якби сила тяжіння раптово зникла, то космічний корабель внаслідок інерції віддалявся б від Землі в космічний простір по прямій лінії.

При розгоні космічного корабля на старті чи його гальмуванні при посадці вага пілотів збільшується в кілька разів — вони зазнають **перевантаження**.



Мал. 127. Залежність ваги тіла від руху динамометра

У стані невагомості перебуває будь-яке тіло під час вільного, тобто безопірного падіння. Якщо за звичних умов не брати до уваги опір повітря, то в невагомості перебуває спортсмен, який стрибає з вишки в басейн або виконує вправи на батуті. Кожен із вас багато разів короткочасно перебував у стані невагомості під час безопорного руху (бігу, стрибків), коли обидві ноги не торкалися землі. У стані невагомості перебувають сміливці, виконуючи стрибок у прірву на канаті (мал. 128).



Мал. 128.
У стані невагомості

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Силу, з якою тіло діє на горизонтальну опору чи розтягує підвіс, на який воно підвішене, внаслідок притягання до Землі, називають вагою тіла.

Сила тяжіння має гравітаційну природу, а вага — електромагнітну. Вага спричинює деформацію опори чи підвісу і породжує силу пружності (силу реакції опори), яка, діючи на тіло, зрівноважує силу тяжіння, перешкоджаючи падінню тіла на Землю.

Якщо ж опора чи підвіс вільно падають із тілом, то кажуть, що вони перебувають у стані невагомості.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Що називають вагою тіла?
2. Чим відрізняється вага від сили тяжіння?
3. Чим відрізняється вага від маси тіла?

Поясніть

1. За яких умов вага тіла не дорівнює за модулем сили тяжіння?
2. Поясніть, як змінюється сила тяжіння та вага дівчинки, що стрибає через скакалку?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. Яка сила тяжіння діє на людину, маса якої 75 кг? Покажіть цю силу на малюнку. Якою буде вага цієї людини на Місяці, якщо відомо, що на Місяці на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 1,62 Н?

Дано:

$$m = 75 \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \text{ Н/кг}$$

$$m_0 = 1 \text{ кг}$$

$$F_0 = 1,62 \text{ Н}$$

$$F = ?$$

$$P = ?$$

$$P_{\text{на Місяці}} = ?$$

Розв'язання

Сила тяжіння, що діє на людину на Землі, визначається за формулою: $F = mg$, отже

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

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

Відмінність між даними силами полягає в тому, що сила тяжіння діє на тіло, тобто прикладена до самого тіла, а вага діє на опору, тобто прикладена до опори (мал. 129).

Оскільки на Місяці на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 1,62 Н, то вага людини масою 75 кг буде становити

$$P_{\text{на Місяці}} = \frac{75 \text{ кг} \cdot 1,62 \text{ Н}}{1 \text{ кг}} = 121,5 \text{ Н}, \text{ тобто вага людини на}$$

Місяці менша, ніж на Землі майже в 6 разів.

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

Вправа 15

1. Яка вага сухої соснової дошки, довжина якої 0,5 м, ширина 10 см, товщина 20 мм, а густина становить 500 кг/м³?
2. Визначте вагу сталевго кубика, ребро якого — 10 см.
3. Визначте об'єм алюмінієвої деталі, вага якої — 540 Н.
4. Скільки важить гас, об'єм якого — 18,75 л?
5. Хлопчик, маса якого 40 кг, тримає в руці гирю вагою 100 Н. З якою силою він тисне на землю?
6. Люстра, що підвішена до стелі, діє на неї із силою 49 Н. Яка маса люстри?



Мал. 129.
Графічне зображення сили тяжіння та ваги

§ 21. СИЛИ ТЕРТЯ

► Ви дізнаєтесь

Що таке сила тертя
Які існують види тертя

► Пригадайте

Що таке сила реакції опори

СИЛА ТЕРТЯ. Тертя — один із видів взаємодії тіл. Зрушивши з місця, тіло починає ковзати по поверхні іншого тіла, і між ними вже існує сила тертя.

Сила тертя — це сила, що виникає в місцях дотику поверхонь і перешкоджає їх відносному переміщенню.

Сили тертя — це ще один вид сил, які діють під час механічних явищ і які відрізняються від сили тяжіння і сили пружності.

ВИДИ ТЕРТЯ. Розрізняють три види тертя і відповідні сили тертя (мал. 130).



Мал. 130. Види тертя

Сила тертя ковзання виникає у випадку, коли одне тіло ковзає по поверхні іншого. Прикладом такого тертя є ковзання санок чи лиж по снігу (мал. 131, а).

Сила тертя кочення виникає, якщо одне тіло не ковзає, а котиться по іншому. Прикладом такого тертя є кочення коліс роликових ковзанів по поверхні асфальту (мал. 131, б), коліс велосипеда, автомобіля чи будь-якого іншого круглого предмета.

При однакових навантаженнях сила тертя ковзання завжди більша за силу тертя кочення. У цьому ви неодноразово переконувались, коли намагались пересунути важкий предмет: тягти його набагато важче, ніж котити (мал. 131).

Сила тертя кочення і сила тертя ковзання направлені проти руху тіла (мал. 132).

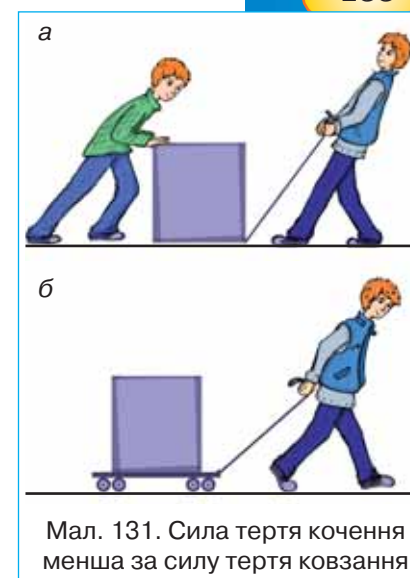
Сила тертя спокою — це та сила, яка заважає вам зрушити з місця стіл, шафу, ліжко тощо. Сила тертя спокою перешкоджає розв'язуватися банту, може утримувати тіло на поверхні похилої площини.

Сила тертя спокою направлена проти того руху, який мав би виникнути. Ця сила виникає при спробі вивести тіло із стану спокою. Найбільша сила тертя спокою дорівнює прикладеній силі, яка виводить тіло зі стану спокою.

Саме завдяки силі тертя спокою ви можете ходити: оскільки підошва не ковзає по поверхні дороги, то сила тертя між нею та дорогою — це сила тертя спокою (мал. 131, в). Під час ходьби ви відштовхуетесь від землі із силою \vec{F} , тому напрям сили тертя спокою $\vec{F}_{\text{тер. сп.}}$ співпадає з напрямом нашого руху (підошва при цьому рухається у протилежному напрямі).

ЧОМУ ВИНΙΚАЮТЬ СИЛИ ТЕРТЯ?

Однією з причин виникнення сили тертя є шорсткість поверхонь тіл. Навіть гладенькі на вигляд поверхні тіл мають нерівності, горбики і подряпини. На малюнку 132 зображено ці нерівності у збільшеному вигляді. Коли одне тіло ковзає або котиться по поверхні іншого, ці нерівності зачіплюються одна за одну — виникає сила, що заважає руху.



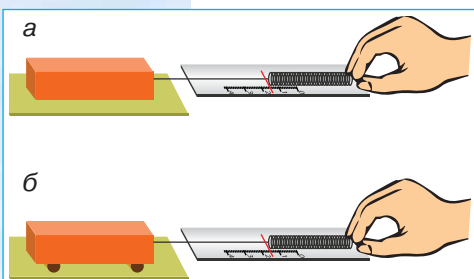
Мал. 131. Сила тертя кочення менша за силу тертя ковзання



Мал. 132. Нерівності поверхонь

Інша причина тертя — взаємне притягання молекул поверхонь дотику. Коли поверхні тіл шорсткі, грубо оброблені, то виникає сила тертя, зумовлена переважно першою причиною. А коли поверхні дотику добре відполіровані, частина їх молекул розміщується так близько одна від одної, що відчутним стає притягання між молекулами тіл.

Силу тертя можна зменшити в багато разів, якщо ввести між поверхнями дотику мастило. У цьому випадку мастило роз'єднує поверхні дотику. Тепер ковзають одна по одній не поверхні тіл, а шари мастила, і тертя шарів рідин менше за тертя твердих тіл. Так, наприклад, добре ковзає по снігу змащена лижа.



Мал. 133. Вимірювання сил тертя:
а — ковзання; б — кочення

ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ ТЕРТЯ.

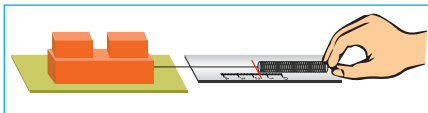
Щоб виміряти силу тертя, наприклад, дерев'яного бруска по поверхні дошки, треба прикріпити до бруска динамометр і рівномірно рухати брусок по дошці, тримаючи динамометр горизонтально (мал. 133, а).

На брусок діє дві сили: сила пружності пружини динамометра, напрямлена в бік руху, і сила тертя, напрямлена проти руху. Оскільки брусок рухається рівномірно, то рівнодійна цих сил дорівнює нулю, тобто ці сили рівні за модулем, але протилежні за напрямом. Динамометр показує силу пружності (прикладену силу тяги), яка за модулем дорівнює силі тертя ковзання.

Подібним чином вимірюють і силу тертя кочення (мал. 133, б). У цьому разі під брусок підкладають дві круглі палички (олівці).

Провівши цей дослід, можете переконаватися, що при однакових навантаженнях сила тертя кочення менша за силу тертя ковзання.

Якщо брусок навантажувати тягарцями і вимірювати описаним способом силу тертя ковзання, то переконаємося, що чим більшою є сила, яка притискає тіло до поверхні, тим більша сила тертя ковзання (мал. 134). Математично це записують так: $F_{\text{тер}} = \mu N$, де N — сила нормального тиску на опору; μ — коефіцієнт тертя ковзання (безрозмірний коефіцієнт пропорційності, мала грецька літера μ , читають «мю»).



Мал. 134. Залежність сили тертя ковзання від навантаження

Коефіцієнт тертя залежить від стану поверхонь тіл і від властивостей речовини, з якої вони виготовлені.

Коефіцієнт тертя

Контактуючі поверхні	Коефіцієнт тертя μ	
	спокою	під час руху
Дерево по дереву	0,65	0,33
Метал по дереву	0,60	0,40
Залізо по залізу	0,15	0,14
Каучук по дереву чи металу	0,80	0,55
Гума по твердому ґрунту	0,4—0,6	0,3—0,5
Сталь по льоду	0,02	0,015

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Сили тертя — це ще один вид сил, які діють під час механічних явищ і які відрізняються від сили тяжіння і сили пружності.

Сила тертя — це сила, що виникає в місцях дотику поверхонь і перешкоджає їх взаємному переміщенню.

Розрізняють силу тертя спокою, силу тертя ковзання і силу тертя кочення.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

? Дайте відповідь на запитання

1. Наведіть класифікацію основних видів тертя.
2. За яких умов виникає сила тертя спокою; сила тертя ковзання; сила тертя кочення? Від чого вони залежать?

?!> Поясніть

1. Чому брусок не скочується вниз (мал. 135)? Яка сила утримує його у стані спокою? Зобразіть сили, що діють на брусок.
2. Що означає дорожній знак «Обережно, слизька дорога» (мал. 136)?
3. Чому погано писати крейдою по мокрій дошці?



Мал. 135.
Брусок у стані спокою



Мал. 136. Що означає дорожній знак?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. Для рівномірного переміщення бруска масою 3 кг по горизонтальному столу треба прикладати силу 6 Н. Якою буде сила тертя, якщо на брусок поставити вантаж масою 4 кг?

Розв'язання

Дано:

$$m_1 = 3 \text{ кг}$$

$$m_2 = 4 \text{ кг}$$

$$F_1 = 6 \text{ Н}$$

$$g = 9,8 \text{ Н/кг}$$

$$F_{\text{тер}} = ?$$

Якщо тіло масою 3 кг рівномірно переміщується поверхнею столу під дією горизонтальної сили 6 Н, то коефіцієнт тертя ковзання $\mu = \frac{F_{\text{тер}1}}{N_1}$, де сила тертя $F_{\text{тер}1}$ дорівнює F_1 , під дією якої тіло рухається рівномірно, а N дорівнює вазі тіла масою 3 кг.

$$N_1 = m_1 \cdot g, \text{ отже } \mu = \frac{F_1}{m_1 \cdot g}.$$

Для визначення сили тертя, що діятиме на тіло масою $m = m_1 + m_2$, потрібно його вагу (силу нормального тиску на опору) помножити на визначений коефіцієнт тертя ковзання, отже

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

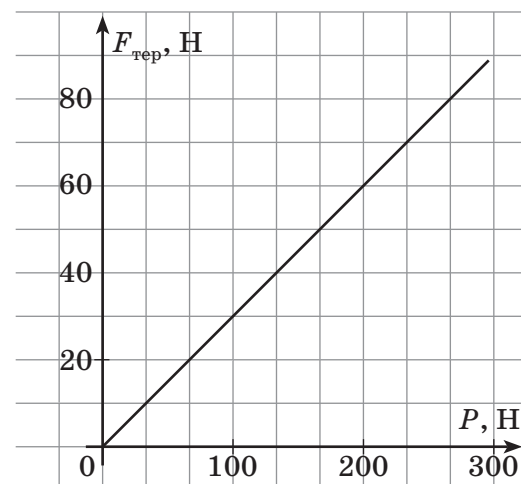
$$F_{\text{тер}} = \frac{6 \text{ Н} \cdot (3 \text{ кг} + 4 \text{ кг})}{3 \text{ кг}} = 13,72 \text{ Н}.$$

Відповідь: $F_{\text{тер}} = 13,72 \text{ Н}$.

Вправа 15

1. Коли брусок тягнуть уздовж поверхні стола, прикладаючи горизонтальну силу 5 Н, він рівномірно ковзає по столу. Чому дорівнює сила тертя, що діє при цьому на брусок? Зобразіть ці сили.
2. До тіла, що лежить на горизонтальній поверхні стола, приклали силу 2 Н, напрямлену горизонтально. Тіло залишилося в спокої. У якому випадку це можливо? Чому дорівнює сила тертя спокою в цьому разі?
3. Парашутист вагою 700 Н спускається з розкритим парашутом. Чому дорівнює сила опору повітря під час рівномірного руху парашутиста? Чому дорівнює рівнодійна сил у цьому разі? Чому дорівнює маса парашутиста?
4. Для рівномірного переміщення саней по снігу прикладають силу 25 Н. Визначте масу саней, якщо сила тертя становить 0,05 ваги саней.
5. Візок масою 10 кг рухається зі сталою швидкістю по горизонтальній поверхні під дією горизонтальної сили 5 Н. Визначте коефіцієнт тертя між візком і поверхнею.

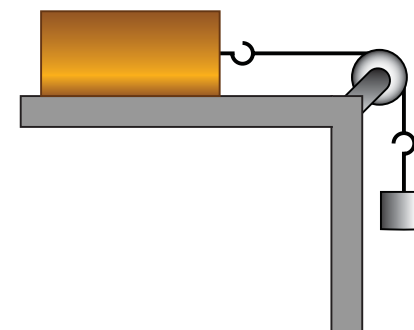
6*. На малюнку 137 наведено графік залежності сили тертя ковзання від ваги тіла. Визначте за графіком коефіцієнт тертя ковзання. Чи зможе учень зрушити з місця скриню масою 60 кг, якщо максимальна сила, яку він може прикласти до скрині, дорівнює 150 Н? Скриню якої маси зможе пересунути учень по цій поверхні?



Мал. 137.

Графік залежності сили тертя ковзання від ваги тіла

7*. Брусок прив'язали до нитки, до іншого кінця якої прив'язано вантаж (див. мал. 138). Вантаж опускається вниз рівномірно. У якому випадку це можливо? Чому дорівнює при цьому сила тертя, якщо маса вантажу 100 г?



Мал. 138. Рівномірний рух бруска



Тертя в природі й техніці.

Сили тертя відіграють важливу роль у житті людини. Завдяки цій силі люди можуть переміщуватися по землі. Автомобілі та інші наземні транспортні засоби рухаються лише внаслідок існування тертя між колесами та поверхнею дороги.

На виробництві широко застосовують транспортери з гумовою стрічкою, яка весь час рухається. Якщо на неї покласти вантаж, то внаслідок існування сили тертя він буде переміщуватися на деяку відстань і навіть підійматися на певну висоту.

В описаних прикладах (і подібних до них) інженери прагнуть збільшити силу тертя. Для цього не тільки роблять поверхні шорсткими, як у випадку з автомобільними шинами, на яких на заводі наноситься протектор певної форми, а й добирають спеціальні матеріали.

В усіх транспортних засобах є гальма, завдання яких — швидко зупинити їх. На гальмові колодки автомобілів наклеюють накладки з матеріалу «феродо», до складу якого входить гума, азбест й інші речовини.

Коли взимку ожеледиця, дорогу посипають піском.

Але в більшості випадків тертя треба суттєво зменшити. Для цього тертьові поверхні розділяють рідиною: спеціальним маслом, як у двигуні автомобіля.

Учені встановили, що ще стародавні єгиптяни, будуючи піраміди, поливали дорогу нільським мулом, що зменшувало тертя полозів саней, на яких перевозили кам'яні брили.

Навіть у всіх живих істот існує рідинне змащення тертьових поверхонь. Поверхні всіх суглобів розділені синовіальною рідиною.

Жоден сучасний механізм не можна уявити собі без кулькових і роликових підшипників (мал. 139). У них інженерна думка реалізувала те, що сила тертя кочення завжди менша від сили тертя ковзання. У такому підшипнику дві обойми розділені або кульками, або роликами.

Доповнені мастилом кулькові та роликові підшипники забезпечують швидке, безшумне й економне обертання різних валів у механізмах, коліс у транспортних засобах тощо.



Мал. 139. Кулькові та роликові підшипники

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

- ▶ **Мета роботи:** визначити коефіцієнт тертя ковзання μ дерева по дереву.
- ▶ **Обладнання:** динамометр, дерев'яний брусок, дерев'яна дошка, набір тягарців по 100 г.

Вказівки щодо виконання роботи



Мал. 140.
Вимірювання сили
тертя ковзання

1. Покладіть брусок на горизонтально розміщену дерев'яну дошку. На брусок поставте один тягарець (мал. 140). Прикріпивши до бруска динамометр, рівномірно тягніть його вздовж дошки. Запишіть при цьому покази динамометра (це буде значення сили $F_{\text{тер}}$).
2. Визначте вагу бруска з тягарцем (це і буде сила нормального тиску N на дошку).
3. Визначіть коефіцієнт тертя ковзання за формулою $\mu = \frac{F_{\text{тер}}}{N}$.
4. До першого тягарця додавайте по черзі другий, третій та продовьте виміри. Результати запишіть до таблиці.

Номер досліду	Сила тертя ковзання $F_{\text{тер}}, \text{Н}$	Вага $P, \text{Н}$	Сила нормального тиску $N, \text{Н}$	Коефіцієнт тертя ковзання μ
1.				
2.				
3.				

5. Зробіть висновок.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначте коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву, коли брусок третью об дерев'яну дошку вужкою гранню. Порівняйте одержані значення коефіцієнта тертя. Зробіть висновок про залежність коефіцієнта тертя ковзання від площі тертьових поверхонь.

Наклейте на нижню грань бруска папір (або будь-який інший матеріал). Визначте коефіцієнт тертя ковзання в цьому випадку. Зробіть висновок.

Визначте коефіцієнт тертя кочення дерева по дереву. Порівняйте коефіцієнти тертя ковзання та кочення дерева по дереву. Зробіть висновок.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ до розділу «Взаємодія тіл. Сила»

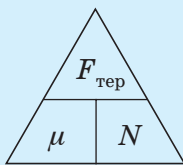
Сила — це фізична величина, яка характеризує інтенсивність взаємодії між тілами. Сила — векторна величина, яка характеризується значенням (модулем), напрямком і точкою прикладання (мал. 141).



Мал. 141. Характеристики сил

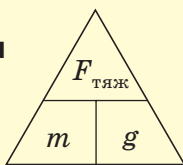
Сила тертя

$$F_{\text{тер}} = \mu N,$$



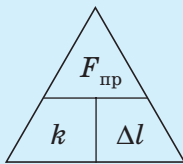
Сила тяжіння

$$F_{\text{тяж}} = mg$$



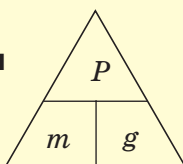
Сила пружності

$$F_{\text{пр}} = k \Delta l$$



Сила тяжіння

$$P = mg$$



Мал. 142. Види сил

Результатом дії сили є зміна швидкості руху тіла та його деформація.

Якщо на тіло не діють сили, або дія сил скомпенсована, то воно зберігає стан спокою або прямолінійного рівномірного руху (рухається за інерцією).

Інертність — властивість тіла зберігати стан руху (або спокою).

Маса — фізична величина, яка характеризує інертність тіла.

Густина речовини — це фізична величина, яка характеризує щільність речовини, і показує, чому дорівнює маса речовини, узятій в об'ємі 1 м^3 .

У механічних явищах розглядаються три види сил: сила тяжіння, сила пружності й сила тертя (мал. 142).

Сила тяжіння — це сила, з якою Земля притягує до себе тіло. Позначають силу тяжіння $F_{\text{тяж}}$. Точкою прикладання сили тяжіння є центр тіла, на яке вона діє. Напрявлена сила тяжіння до центра Землі.

Сила пружності — це сила, що виникає під час деформації тіла і намагається повернути тіло в початковий стан. Позначають силу пружності $F_{\text{пр}}$. Силами пруж-

ності є: сила реакції опори, сила натягу нитки. Сила пружності розподілена по всьому тілу, і її значення залежить від деформації. Для пружної деформації виконується *закон Гука*: сила пружності, яка виникає під час пружної деформації тіла, прямо пропорційна видовженню тіла і напрямлена в бік, протилежний до напрямку переміщень частинок тіла під час деформації.

Сила тертя — це сила, що виникає в місцях дотику поверхонь і перешкоджає їх взаємному переміщенню. Позначають силу тертя $F_{\text{тер}}$. Існують такі види сил тертя: сила тертя спокою, сила тертя ковзання і сила тертя кочення. Сила тертя ковзання і сила тертя кочення виникають між поверхнями дотику і направлені проти руху тіла.

Вагою тіла називають силу, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на горизонтальну опору чи підвіс, на який воно підвішене. Позначають вагу великою латинською літерою P . Точкою прикладання ваги є точка на опорі або підвісі. Якщо ж опора чи підвіс вільно падають із тілом, то кажуть, що вони перебувають у *стані невагомості*.

ПЕРЕВІР СВОЇ ЗНАННЯ

- За яких умов тіло зберігає свою швидкість постійною?
 - якщо дія на нього інших тіл компенсується
 - якщо на нього діє лише одна сила
 - якщо інші тіла діють на нього почергово
 - якщо на нього буде діяти постійна сила
- Інертність — це властивість тіла зберігати...
 - свою масу
 - свою швидкість постійною
 - свої розміри
 - свою вагу
- Котрий із візків на малюнку 143 набуде більшої швидкості, якщо випрямиться пружина?

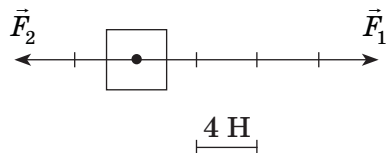


Мал. 143.
У якого з візків швидкість більша?

- При взаємодії двох візків масою 4 кг і 6 кг виявилось, що перший набув за певний інтервал часу швидкості $0,45 \text{ м/с}$. Яку швидкість матиме другий візок за той самий час?

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

5. На малюнку 144 зображено сили, що діють на тіло, і значення одиничного відрізка. Визначте модулі сил, прикладених до тіла, величину й напрям рівнодійної сил.

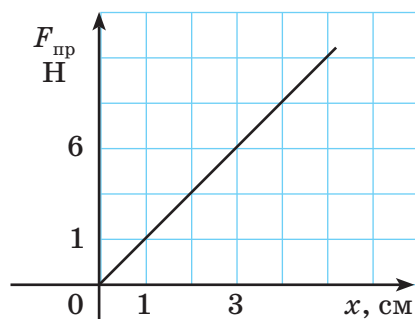


Мал. 144. Куди напрямлена рівнодійна сил F_1 і F_2 ?

- А. $F_1 = 2$ Н, $F_2 = 4$ Н, $F = 6$ Н, у бік сили \vec{F}_1
- Б. $F_1 = 2$ Н, $F_2 = 4$ Н, $F = 6$ Н, у бік сили \vec{F}_2
- В. $F_1 = 8$ Н, $F_2 = 16$ Н, $F = 8$ Н, у бік сили \vec{F}_1
- Г. $F_1 = 8$ Н, $F_2 = 16$ Н, $F = 8$ Н, у бік сили \vec{F}_2

6. Вага тіла 500 Н. Яка його маса? ($g \approx 10$ Н/кг).

7. За графіком залежності сили пружності від видовження визначте жорсткість пружини (мал. 145).



Мал. 145. Визначте жорсткість пружини

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

8. Тіло вільно падає біля поверхні Землі. За цих умов...
- А. тіло має вагу і на нього діє сила тяжіння
 - Б. на тіло діє сила тяжіння, а його вага дорівнює нулю
 - В. тіло має вагу, а сила тяжіння дорівнює нулю
 - Г. сила тяжіння і вага дорівнюють нулю.

9. Яка густина рідини, 125 л якої мають масу 100 кг?

10. Маса срібної фігурки становить 707 г, а її об'єм — 0,7 дм³. Визначте чи суцільною є ця фігурка.

11. Скільки молекул міститься у склянці води об'ємом 200 мл? Маса однієї молекули води приблизно дорівнює $2,99 \cdot 10^{-26}$ кг.

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

13. Яку силу потрібно прикласти до пружини, жорсткість якої дорівнює 50 Н/м, щоб вона видовжилась на 5 см?

14. Вага тіла на Юпітері становить 540 Н. Визначте вагу цього тіла на Землі, якщо для Юпітера $g = 27$ Н/кг.

15. Цеглину масою 1 кг рівномірно переміщують горизонтальною поверхнею. Визначте силу тертя, якщо коефіцієнт тертя між цеглою і поверхнею 0,3.

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

17. Алюмінієвий брусок об'ємом 200 см³ підвісили до динамометра. При цьому пружина розтягнулась на 5 см. Яку силу показуватиме динамометр, якщо розтяг його пружини становитиме 10 см?



РОЗДІЛ

4

ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН ТА ГАЗІВ

- ▶ Хто такий Архімед і чому з його ім'ям пов'язано так багато легенд?
- ▶ Архімед (близько 287–212 до н. е.) — давньогрецький математик, фізик, інженер, винахідник та астроном. Він вважається одним з найвидатніших науковців античності, його винаходи вражали настільки, що люди увіковічили їх у легендах.
- ▶ Одного разу цар Гієрон наказав Архімеду перевірити, чи з чистого золота виготовлена царська корона. Густина золота на той час вже знали. Масу золота Архімед виміряв за допомогою терезів. А як виміряти об'єм корони?
- ▶ Архімед весь час роздумував над цим завданням. Якось він приймав ванну, і тут йому прийшла в голову блискуча ідея: занурюючи корону у воду, можна визначити її об'єм, вимірявши об'єм витісненої нею води. Архімед вискочив голий на вулицю з криком «Еврика!», тобто «Знайшов!».
- ▶ Згідно з легендою так був відкритий основний закон гідростатики: закон Архімеда.

Вивчаючи розділ «Тиск твердих тіл, рідин та газів», ви зможете пояснити закон Архімеда та закон Паскаля, з'ясуєте, чому одні тіла плавають, а інші — тонуть, чому людина провалюється в пухкому снігу, а одягнувши лижі може стояти не провалюючись. Довідаєтеся, хто і як вперше виміряв атмосферний тиск. Порівняєте, як передають тиск тверді тіла, рідини й газу. Розглянете пристрої й установки, дія яких ґрунтується на законі Паскаля.

§ 22. Тиск твердих тіл на поверхню

§ 23. Тиск рідин і газів. Закон Паскаля

§ 24. Гідростатичний тиск

§ 25. Атмосферний тиск

§ 26. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон Архімеда



§ 22. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ

► Ви дізнаєтесь

Що таке тиск і як його вимірюють

► Пригадайте

Що таке сила
Від чого залежить результат дії сили

ТИСК. Результат дії сили на тіло залежить не лише від її модуля, напрямку і точки прикладання, а й від того, до якої площі поверхні вона прикладена.

Наприклад, можна досить сильно тиснути пальцем на поверхню дерев'яної дошки, але вона при цьому помітно не деформується. Якщо з такою самою силою тиснути на металеву кнопку, то її гострий кінчик легко деформує дерев'яну поверхню, проколюючи її.

Або такий приклад. Усім вам доводилося грузнути в пухкому снігу. Іти по снігу важко, — при кожному кроці глибоко провалюєшся. Але, надівши лижі, можна йти по снігу, майже не провалюючись у нього (мал. 146).



Мал. 146. Приклади різного результату дії сили

На лижах або без лиж людина діє на сніг з тією самою силою, що дорівнює її вазі. Проте дія цієї сили в обох випадках не однакова, бо різна площа поверхні, на яку тисне людина на лижах і без них.

Наведені приклади доводять, що результат дії сили залежить і від того, яка сила діє на одиницю площі поверхні. До того ж у розглянутих прикладах сила, що прикладена до тіла, напрямлена перпендикулярно до площі поверхні, на яку вона діє. Вага людини була перпендикулярна до поверхні снігу; сила, яка діяла на кнопку, перпендикулярна до її поверхні.

Фізична величина, що характеризує дію сили, напрямленої перпендикулярно до поверхні, називається тиском.

Отже, щоб визначити тиск, треба силу, яка діє перпендикулярно до поверхні, поділити на площу поверхні: $p = \frac{F}{S}$, де p — тиск, F — сила, яка діє на поверхню, і S — площа поверхні.

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

ОДИНИЦІ ТИСКУ. За одиницю беруть такий тиск, який чинить сила 1 Н, що діє на поверхню площею 1 м² перпендикулярно до цієї поверхні.

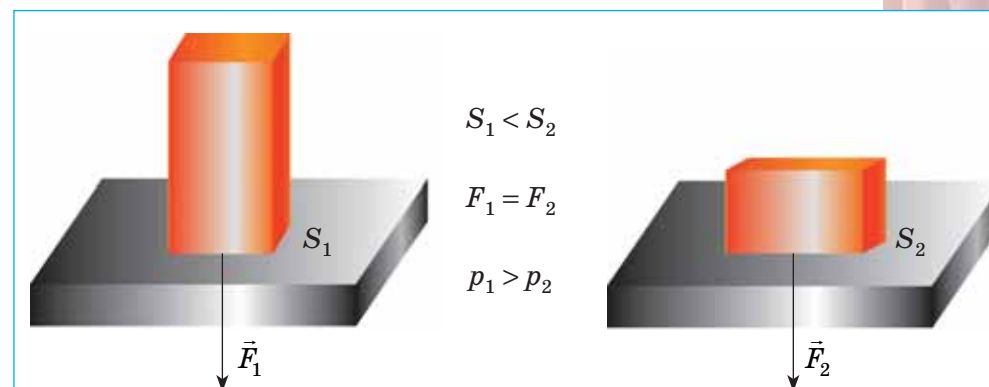
На честь французького вченого Блеза Паскаля одиницю тиску **ньютон на квадратний метр** $\left(1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$ називають паскалем (позначають Па). Отже,

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

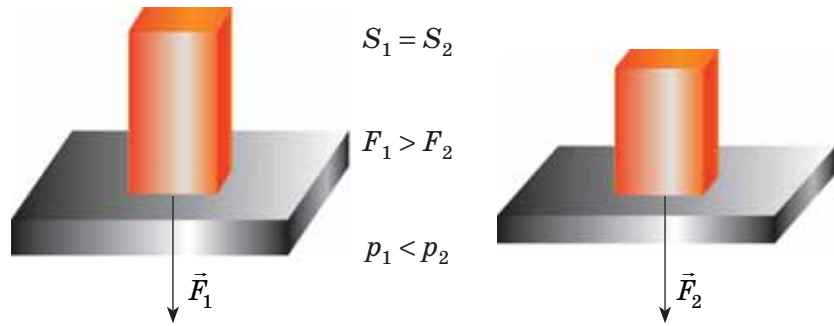
Використовують також інші одиниці тиску — гектопаскаль (гПа) і кілопаскаль (кПа):

$$\begin{aligned} 1 \text{ кПа} &= 1000 \text{ Па}; & 1 \text{ Па} &= 0,001 \text{ кПа}; \\ 1 \text{ гПа} &= 100 \text{ Па}; & 1 \text{ Па} &= 0,01 \text{ гПа}. \end{aligned}$$

ЗМІНА ТИСКУ. Тиск, якщо є потреба, можна змінювати. Якщо діє одна і та ж сила і змінювати площу, то зі збільшенням площі тиск зменшуватиметься. І навпаки, зі зменшенням площі тиск збільшується (мал. 147).



Мал. 147. Тиск залежить від площі поверхні



Мал. 148. Тиск залежить від значення діючої сили

Якщо ж не змінювати площі, а змінювати силу, то зі збільшенням сили збільшується тиск, відповідно зі зменшенням сили — тиск зменшується (мал. 148).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізична величина, що характеризує дію сили, напрямленої перпендикулярно до поверхні, називається *тиском*.

Щоб визначити тиск, треба силу, яка діє перпендикулярно до поверхні, поділити на площу поверхні: $p = \frac{F}{S}$, де p — тиск, F — сила, яка діє на поверхню, і S — площа поверхні.

Знаючи тиск, легко визначити *силу тиску*:

$$F = pS,$$

або *площу* поверхні, на яку вона діє:

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

Зверніть увагу на два останні значення тиску. Важкий гусеничний трактор, маса якого десятки тисяч кілограмів, чинить на ґрунт тиск, який у 2 рази більший, ніж тиск людини при ходьбі! Пояснюється це тим, що вага трактора розподіляється по великій площі його гусениць. Колеса снігоходів, всюдиходів та інших транспортних засобів для пересування по пісках, снігу, пустелі, болотах (мал. 149) роблять якомога ширшими.



Мал. 149. Для зменшення тиску колеса транспортних засобів роблять ширшими

Жало бджоли (мал. 150) здійснює на поверхню шкіри такий самий тиск, як і вантаж масою десятки тон на 1 см^2 . Щоб отримати такий надвисокий тиск для промислових цілей (наприклад, для отримання штучних алмазів), ученим доводиться розробляти дуже складні установки.



Мал. 150. Жало бджоли



ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

Тиск 1 Па дуже малий. Такий тиск чинить тіло масою 1 г на поверхню площею 100 см^2 , наприклад, аркуш паперу на долоню. У природі та техніці зустрічаються досить великі значення тиску:

Характерні значення тиску на поверхню деяких об'єктів

Об'єкт	Тиск, Па
Колеса вагона — на колію	$3 \cdot 10^9$
Жало бджоли	$5 \cdot 10^7$
Ковзаняр — на лід	$1 \cdot 10^6$
Автомобіль — на дорогу	$5 \cdot 10^5$
Гусениці трактора — на ґрунт	$5 \cdot 10^4$
Людина — під час ходьби	$2,5 \cdot 10^4$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Наведіть приклади, які підтверджують, що дія сили залежить від площі поверхні, на яку діє сила.
2. Що називають тиском? Як визначають тиск? Які одиниці тиску?
3. Як можна змінювати тиск?



Поясніть

1. Як зміниться тиск і сила тиску людини на підлогу, якщо вона підніме одну ногу?
2. Чому на м'якому ліжку лежати набагато приємніше, ніж на твердій підлозі?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. На скільки зміниться тиск людини масою 65 кг на підлогу, якщо вона займе лежаче положення? Площа підшви взуття $0,07 \text{ м}^2$, площа людини в лежачому стані $0,7 \text{ м}^2$.

Дано:

$$m = 65 \text{ кг}$$

$$S_1 = 0,07 \text{ м}^2$$

$$S_2 = 0,7 \text{ м}^2$$

Δp — ?

Розв'язання

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

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

У першому випадку:

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

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

Зміна тиску людини на підлогу відповідно: $\Delta p = p_1 - p_2$.

$$\Delta p = 9100 \text{ Па} - 910 \text{ Па} = 8190 \text{ Па} .$$

Відповідь: на 8190 Па.

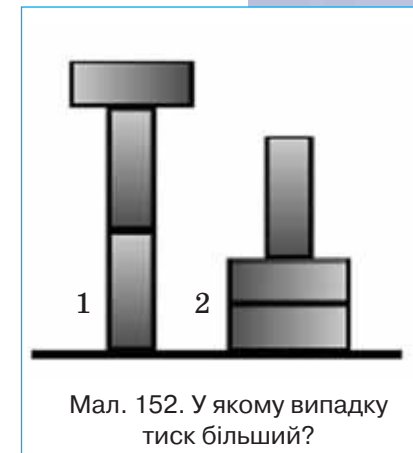


Мал. 151. Рятувати потерпілого на льоду треба лежачи

Аналізуючи розв'язок задачі, бачимо, що стоячи людина чинить тиск у 10 разів більший, ніж лежачи. Це враховують рятувальники, яким доводиться витягувати людей, що провалилися під кригу (мал. 151).

Вправа 16

1. Порівняйте тиск p і силу тиску F на стіл трьох цеглин, розміщених так, як показано на малюнку 152.
2. Ейфелева вежа в Парижі має площу основи 450 м^2 . Визначте тиск вежі на Землю, якщо її маса 9000 т .
3. Який тиск чинить лижник масою 70 кг на сніг, якщо довжина кожної лижі $1,75 \text{ м}$, ширина 8 см ?
4. В алюмінієву каструлю масою 400 г налили $3,2 \text{ л}$ води. Визначте тиск, який чинить каструля з водою на стіл, якщо діаметр дна каструлі 30 см .
5. Лід витримує тиск 45 кПа . Чи пройде по цьому льоду трактор масою $5,6 \text{ т}$, площа гусениць якого $1,4 \text{ м}^2$?
6. На столі стоїть суцільний куб з алюмінію. Яка маса куба, якщо на стіл він створює тиск $2,7 \text{ кПа}$?
7. Чи можете ви цвяхом створити тиск 10^5 кПа ? Яку силу при цьому слід прикласти, якщо площа вістря цвяха $0,1 \text{ мм}^2$?



Мал. 152. У якому випадку тиск більший?

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Маленьке курчатко при народженні легко розколює шкарлупу яйця. А чи так само легко розколоти яйце зовні? А чи відомо вам, яке навантаження може витримати яйце?

Візьміть чотири яйця однакового розміру, 2 лотки з-під яєць, картон, пластикові пляшки з водою. Поставте по два яйця в крайні отвори лотків, розташували їх симетрично одне відносно одного.

Покладіть на яйця картон. Поставте на картон важкі предмети, наприклад, пластикові пляшки, наповнені водою, або стос книжок (мал. 153).

Опукла форма і велика площа опори (поперечний переріз яйця) роблять зовнішній тиск на шкаралупу незначним.

Міцність опуклої конструкції використовується архітекторами при проектуванні куполів, мостів. Куполоподібні склепіння міцніші за плоскі.



Мал. 153. Міцність яєчної шкаралупи

§ 23. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

► Ви дізнаєтесь

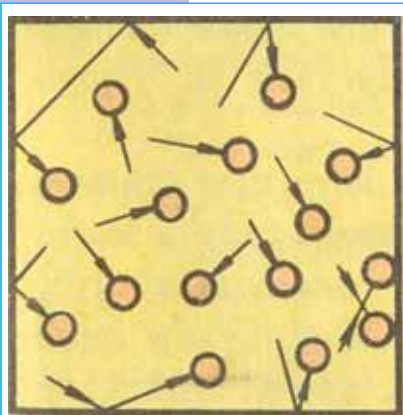
Як виникає тиск у рідинах і газах

► Пригадайте

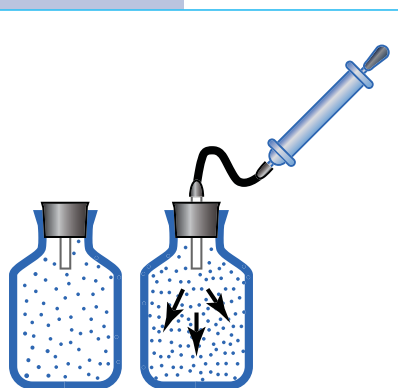
Що таке тиск
Які особливості будови твердих тіл, рідин і газів



Мал. 154. Повітря у склянці тисне на воду



Мал. 155. Модель руху молекул газу



Мал. 156. При збільшенні маси газу його тиск збільшується

ТИСК ГАЗУ. Оскільки молекулярна будова газів відрізняється від будови твердих тіл, то і природа тиску газів відрізняється від природи тиску твердих тіл на опору.

Вам, можливо, доводилось опускати склянку догори дном у посудину з водою і спостерігати, що вода у склянку не заходить (мал. 154). Це пояснюється тим, що у склянці є повітря, яке тисне на воду. З'ясуємо природу тиску газів.

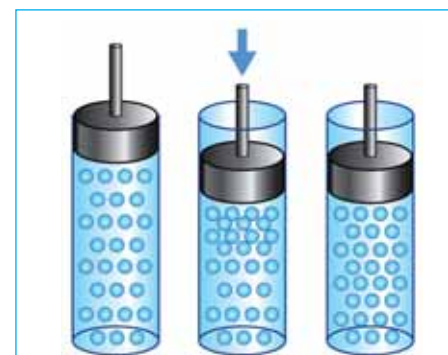
У газах молекули безладно рухаються. Під час свого руху вони стикаються одна з одною, а також із стінками посудини, у якій міститься газ (мал. 155).

Розміри молекул дуже малі, і сила удару також мала. Але число молекул газу в посудині дуже велике (в 1 см^3 міститься приблизно 10^{19} молекул). Саме *сумарною дією ударів молекул газу спричинюється тиск газу на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло)*.

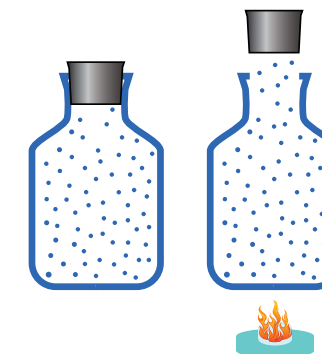
Для того щоб збільшити тиск газу, потрібно або збільшити кількість ударів молекул об стінки посудини, або збільшити силу ударів, або зробити і те й інше одночасно.

Щоб збільшити кількість молекул в посудині, треба додати у посудину ще газу, тобто збільшити його масу. При цьому збільшиться тиск газу в посудині (мал. 156).

Якщо зменшити об'єм газу, не змінюючи його масу, то в кожному кубічному сантиметрі газу молекул стане більше, тобто густина газу збільшиться. При цьому зростає і кількість ударів молекул об стінки посудини, а отже, і тиск газу (мал. 157).



Мал. 157. При зменшенні об'єму заданої маси газу — тиск збільшується

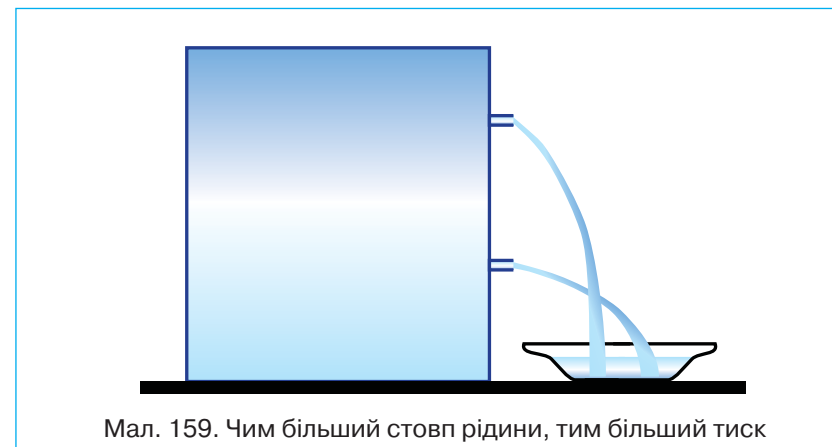


Мал. 158. Тиск газу в закритій посудині буде тим більший, чим вища температура газу, за умови, що маса газу не змінюється

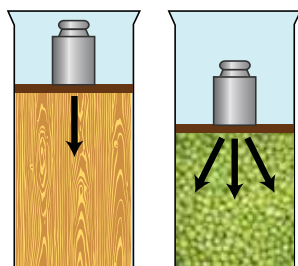
Дослідженнями встановлено, що швидкість руху молекул під час нагрівання збільшується. Рухаючись швидше, молекули сильніше і частіше вдаряються об стінки посудини. Тиск газу відповідно зростає (мал. 158).

ТИСК РІДИН. Унаслідок земного тяжіння рідини також мають вагу, тому кожен верхній шар рідини своєю вагою тисне на шари, що містяться нижче. Тиск у рідинах називають *гідростатичним*. Гідростатичний тиск рідин залежить від густини рідини й висоти стовпа рідини в посудині.

Візьмемо високу посудину, у стінках якої на різних висотах є отвори. Прикриємо отвори й заповнимо посудину вщерть водою. Коли відкриємо отвори, то побачимо, що з усіх отворів почне витікати вода (мал. 159). Однак падають ці струмені на різних відстанях від посудини. Той, що витікає біля дна, сягає найдалшої від посудини точки. Це пояснюється тим, що тиск води біля дна — найбільший.



Мал. 159. Чим більший стовп рідини, тим більший тиск



Мал. 160. Передача тиску твердим і сипким тілами

ПЕРЕДАЧА ТИСКУ ТВЕРДИМИ ТІЛАМИ, РІДИНАМИ ТА ГАЗАМИ. Проведемо такий дослід. Візьмемо дві посудини: в одну покладемо дерев'яний брусок, у другу насиплемо гороху та покладемо зверху гири (мал. 160).

Гиря внаслідок дії сили тяжіння тиснути на дерев'яний брусок, який у свою чергу тиснути лише на дно посудини. Горох тиснути не тільки на дно, а й на стінки посудини в усіх точках дотику горошин.

У більшості твердих тіл атоми й молекули розташовані в певному порядку і утворюють міцні кристалічні ґрати. Довільно рухатись атоми й молекули твердого тіла не можуть — вони лише коливаються у вузлах кристалічних ґрат. Тому тиск, що створюється силою, передається у твердому тілі в напрямі дії сили.

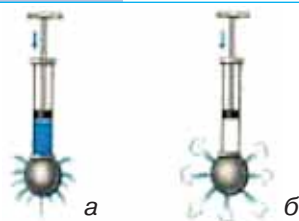
Молекули газу вільно переміщуються в усьому просторі посудини, тому газ тисне на стінки в усіх напрямках однаково.

Окремі шари та дрібні частинки рідини, на відміну від твердих тіл, можуть переміщуватись одні відносно одних, але не так вільно, як молекули газу. Вони можуть змінювати своє положення, міняючись місцями із сусідніми молекулами. Отже, рідини, як і гази, тиснуть на всі стінки посудин у якій містяться.

Рухомість молекул рідин і газів є причиною того, що тиск ними передається не лише в напрямі дії сили, а й в усіх напрямках.

ЗАКОН ПАСКАЛЯ. Цю особливість дослідив французький фізик Блез Паскаль, який сформулював закон, названий на його честь законом Паскаля.

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



Мал. 161. Рідина і газ передають тиск в усіх напрямках однаково

Переконаємось у цьому на дослідах. На малюнку 161, а зображено порожнисту кулю, що має в різних місцях отвори. До кулі приєднано трубку, в яку вставлено поршень. Якщо набрати води в кулю і всунути в трубку поршень, то вода полетиться з усіх отворів кулі. У цьому досліді поршень тисне на поверхню води в трубці. Частинки води під поршнем, ущільнюючись, передають його тиск іншим шарам, що лежать

глибше. Таким чином, тиск поршня передається в кожную точку рідини, яка заповнює кулю. Унаслідок цього частина води виштовхується з усіх отворів кулі у вигляді струменів.

Якщо кулю заповнити димом і всовувати поршень у трубку, то з усіх отворів кулі почнуть виходити клубні диму (мал. 161, б). Це підтверджує, що гази передають тиск, який чиниться на них, в усі напрями однаково.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Тиск газу зумовлений сумарною дією ударів молекул газу на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло).

Тиск газу залежить від густини газу й температури.

Тиск в рідинах називають *гідростатичним*.

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

ЦІКАВІ ФАКТИ



Блез Паскаль (1623—1662) — французький математик, фізик, релігійний філософ і письменник.

У 1641 р. Блез Паскаль сконструював першу машину, яка могла сумувати числа.

Він, один із основоположників гідростатики, встановив її основний закон, на якому заснована дія гідравлічних пресів та інших гідростатичних машин.

Дослід Паскаля

За вказівкою Паскаля, міцну дубову бочку по самі вінця наповнили водою й наглухо закрили кришкою. У невеликий отвір в кришці вставили кінець вертикальної тонкої трубки такої довжини, що її кінець виявився на рівні другого поверху.

Вийшовши на балкон, Паскаль почав наповнювати трубку водою. Не встиг він вилити і десятка склянок, як раптом, до подиву роззяв, що обступили бочку, бочка з тріском лопнула (мал. 162). Її розірвала незрозуміла сила. Паскаль пояснив це так: сила, що розірвала бочку, зовсім не залежить від кількості води в трубці. Уся справа у висоті, до якої трубка була заповнена.

Цим дослідом підтверджується ще одна дивовижна властивість води — передавати тиск, що створюється на її поверхні (у бочці), по всьому об'єму, кожній точці стінки або дна бочки.



Мал. 162. Дослід Паскаля



а



б

Мал. 163.
Пневмонічні
та гідравлічні
механізми

На основі закону Паскаля заснована дія гідравлічних та пневмонічних механізмів.

Стиснуте повітря, наприклад, застосовують у роботі заклепувальних машин і відбійних молотків (мал. 163, а). Є піскоструминні апарати, які дають потужний струмінь повітря, змішаного з піском. Часто можна спостерігати, як фарбують стіни за допомогою спеціальних апаратів, де фарбу розпилює стиснуте повітря. Стиснутим повітрям відчиняють двері вагонів поїздів, метро і тролейбусів.

Не менш поширені й гідравлічні механізми: гідравлічні гальма, преси, підйомники тощо. Гальмівна гідравлічна система є частиною будь-якого транспортного засобу. Сьогодні дискові гідравлічні гальма використовують навіть на кросових велосипедах (мал. 163, б).

Гідравлічні преси (мал. 164) застосовують там, де потрібна велика сила, адже ці пристрої дають вигреш у силі. Пояснимо як саме. Гідравлічний прес складається з двох циліндрів різного діаметра з поршнями (мал. 164, а). Прикладаючи невеликі зусилля F_1 до ма-

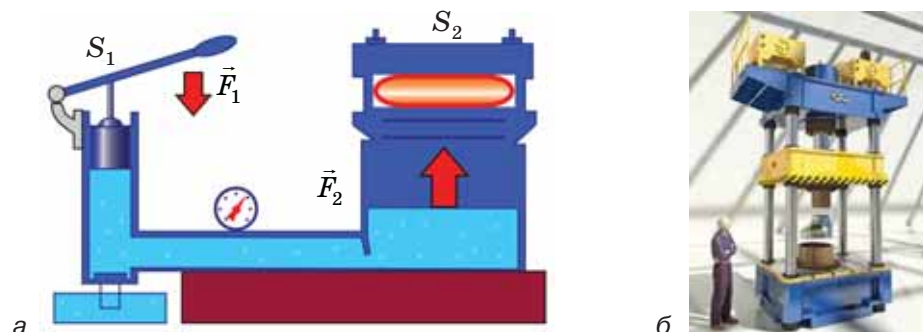
лого поршня площею S_1 , створюється тиск $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$. Цей тиск без зміни передається в кожную точку рідини, яка заповнює циліндри (як правило, використовують мінеральне масло). Тому такий самий тиск діє і на другий поршень площею S_2 : $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$.

Відповідно, сила F_2 у стільки разів більша за силу F_1 , у скільки разів площа великого поршня S_2 більша за площу малого поршня

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

Відношення F_2 / F_1 , називають виграшем у силі.

Сучасні конструкції пресів дуже різноманітні, залежно від їх призначення. На малюнку 164, б показано один із типів гідравлічного преса.



а

б

Мал. 164. Гідравлічний прес

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Як пояснюють тиск газу на основі вчення про рух молекул?
2. Від чого залежить тиск газу?
3. Чим зумовлений тиск рідини?
4. Яка властивість спільна для рідин і газів?
5. Сформулюйте закон Паскаля.

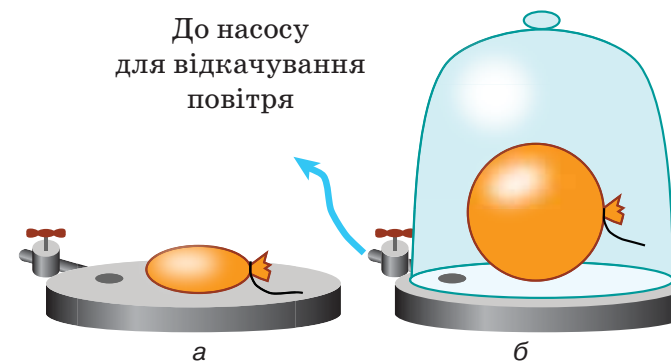


Поясніть

1. У пластикову пляшку з водою вставлено скляну трубку (мал. 165). Що буде відбуватися, якщо натиснути на пляшку?
2. Під ковпак повітряного насоса кладуть зав'язану гумову кульку. Вона містить невелику кількість повітря (мал. 166, а) і має неправильну форму. Потім насосом викачують повітря з-під ковпака (мал. 166, б). Поясніть, чому гумова кулька роздувається і набуває форми кулі.



Мал. 165. Що буде, якщо натиснути на пляшку?



Мал. 166. Чому роздувається кулька?



МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Прилад для демонстрації закону Паскаля ви можете виготовити самостійно (див. мал. 167)



Мал. 167.
Саморобний
прилад
для демонстрації
закону
Паскаля

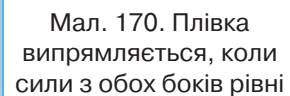
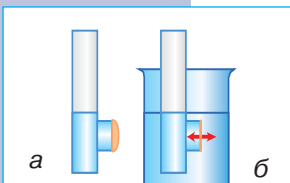
§ 24. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК

► Ви дізнаєтесь

Як визначити тиск рідини на дно й стінки посудини

Що таке сполучені посудини

Що таке гідростатичний парадокс



Мал. 171. Дія сили тиску води

ТИСК В РІДИНІ. У попередньому параграфі ми з'ясували, що тиск у нерухомій рідині, зумовлений вагою її верхніх шарів, називають *гідростатичним*. Поглибимо свої знання про цей тиск.

У скляну трубку, нижній отвір якої закрито тонкою гумовою плівкою, наллємо воду. Під дією ваги рідини дно трубки прогнеться (мал. 168, а). Дослід показує, що чим вищим є стовп води над гумовою плівкою, тим більше вона прогинається (мал. 168, б).

Опустимо трубку з гумовим дном, у яку налита вода, в іншу, більш широкую посудину з водою (мал. 169).

Ми побачимо, що із заглибленням трубки гумова плівка поступово випрямляється. Повне випрямлення плівки свідчить про рівність сил, що діють на неї зверху і знизу. Настає повне випрямлення плівки тоді, коли рівні води в трубці й посудині збігаються.

Такий самий дослід можна провести з трубкою, в якій гумова плівка закриває бічний отвір (мал. 170, а). Якщо цю трубку з водою занурити в іншу посудину з водою (мал. 170, б), то ми знову побачимо, що плівка випрямиться, як тільки рівні води в трубці й посудині зрівняються. Це означає, що сили, що діють на гумову плівку, однакові з обох боків.

Проведемо ще один дослід. Візьмемо трубку, нижній отвір якої прикриємо диском. Опустимо трубку в посудину з водою (мал. 171). Диск при цьому щільно притискатиметься до країв трубки і не відпадатиме. Його притискає сила тиску води, напрямлена знизу вгору.

Будемо обережно наливати воду в трубку і стежити за диском. Як тільки рівень води в трубці співпаде з рівнем води в посудині, диск відпаде від трубки.

У момент відривання на диск тисне зверху вниз стовп рідини в трубці, а знизу вгору передається тиск такого самого стовпа рідини, що є в посудині. Обидва ці тиски однакові, а диск відпадає під дією сили тяжіння.

► Пригадайте

Що встановлює закон Паскаля

Ці досліди свідчать, що **гідростатичний тиск усередині рідини є однаковим на одному рівні й однаково передається в усіх напрямках.**

РОЗРАХУНОК ТИСКУ РІДИНИ НА ДНО І СТІНКИ ПОСУДИНИ. Розрахуємо гідростатичний тиск, який чинить рідина на дно посудини внаслідок дії на неї сили тяжіння.

За означенням, тиск дорівнює відношенню сили тиску до площі поверхні, на яку діє сила: $p = \frac{F}{S}$.

Силою тиску в розглядуваному випадку є вага рідини:

$$F = P = mg.$$

Масу рідини найпростіше розрахувати за її густиною й об'ємом, який вона займає: $m = \rho V$.

Об'єм, що займає рідина в посудині можна обчислити таким способом: $V = Sh$, де h — рівень води в посудині, S — площа дна посудини.

$$\text{Тоді } p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$$

Отримали **формулу для визначення гідростатичного тиску рідини на дно посудини:**

$$p = \rho gh.$$

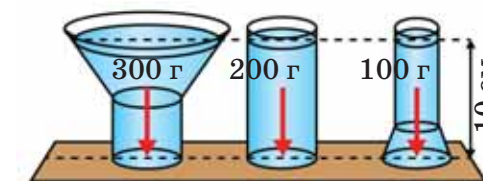
З цієї формули видно, що тиск рідини на дно посудини залежить тільки від густини і висоти стовпа рідини.

За цією формулою можна визначити тиск рідини, налитой в посудину будь-якої форми. Крім того, за нею можна обчислити й тиск на стінки посудини, а також тиск усередині рідини, у тому числі й тиск знизу вгору, оскільки він на тій самій глибині однаковий у всіх напрямках.

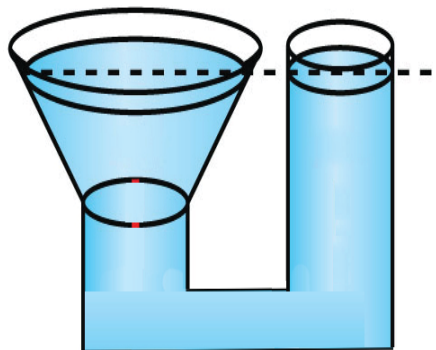
ГІДРОСТАТИЧНИЙ ПАРАДОКС. Візьмемо три посудини різної форми, але з однаковою площею дна (див. мал. 172). Якщо налити в них води до однакового рівня, то створений тиск на дно кожної посудини буде однаковим. А маса рідин в цих посудинах різна — ось в чому парадокс!

Але цей парадокс легко пояснюється законом Паскаля. Оскільки площа дна в усіх посудинах однакова, то й тиск рівномірно передається в кожну точку дна посудини.

Саме висотою стовпа рідини (а не її масою) пояснюється дослід Паскаля із бочкою (див. с. 155).



Мал. 172. Гідростатичний парадокс



Мал. 173. У сполучених посудинах різної форми висота рівнів однорідної рідини — однакова

У тоненьку трубку долили декілька склянок води, і бочка від сильного тиску рідини зсередини тріскається. Ось яка роль висоти стовпа рідини!

СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ. На малюнку 173 зображено посудини, сполучені між собою гумовою трубкою. Такі посудини називають сполученими.

У сполучених посудинах будь-якої форми (мал. 173) поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні (за умови, що тиск повітря над рідиною є однаковим).

Це правило можна обґрунтувати, міркуючи так: рідина в спокої не переміщується з однієї посудини в іншу, отже, тиски її в обох посудинах на будь-якому рівні однакові: $p_1 = p_2$ або $\rho gh_1 = \rho gh_2$.

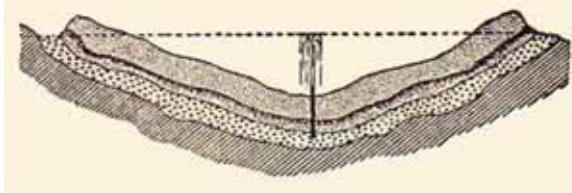
Оскільки рідина в обох посудинах одна й та сама, тобто має однакову густину, то, мають бути однаковими її висоти: $h_1 = h_2$.

Якщо в одну із сполучених посудин налити рідину однієї густини, а в другу — іншої, то при рівновазі рівні цих рідин не будуть однаковими (мал. 174).

За однакових тисків висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша від висоти стовпчика рідини з меншою густиною: $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ або $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$.

Сполучені посудини широко застосовуються в побуті та техніці (мал. 175): поливальниця, чайник, кавник, фонтан, артезіанський колодязь — приклади сполучених посудин.

Мал. 175. Використання принципу сполучених посудин



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Усередині рідини гідростатичний тиск є однаковим на тому самому рівні й однаково діє в усіх напрямках. З глибиною гідростатичний тиск збільшується.

З формули для визначення гідростатичного тиску рідини на дно посудини $p = \rho gh$ видно, що цей тиск залежить тільки від густини і висоти стовпа рідини.

У сполучених посудинах будь-якої форми поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий).

ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

ДОСЛІДЖЕННЯ МОРСЬКИХ ГЛИБИН

Глибина океанів досягає кількох кілометрів. Тому на дні океану величезний тиск. Так, наприклад, на глибині 10 км (а є й більші глибини) тиск становить близько 100 000 000 Па. Незважаючи на це, внаслідок малої стисливості води, густина її на дні океанів не набагато більша, ніж поблизу поверхні.

Як показують спеціальні дослідження, і на таких великих океанських глибинах живуть риби та деякі інші живі істоти (мал. 176). Організм цих риб пристосований до існування в умовах великого тиску і темряви. Їхні тіла здатні витримувати тиск у мільйони паскалів. Зрозуміло, що такий самий тиск існує і всередині самих риб.

Людина після спеціального тренування може без особливих запобіжних засобів занурюватися на глибини до 80 м. Тиск води на таких глибинах — близько 800 кПа. На більших глибинах, якщо не вжити спеціальних засобів, грудна клітка людини може не витримати тиску води. Тому застосовують спеціальні водолазні костюми (мал. 177).

Для дослідження моря на великих глибинах використовують батисфери і батискафи. Батисферу опускають у море на сталевому тросі із спеціального корабля. Батискаф не зв'язаний тросом із кораблем. Він має власний двигун і може пересуватись на великій глибині в будь-якому напрямі.



Мал. 176. Глибоководні риби



Мал. 177. Апарати та спорядження для дослідження морських глибин

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

? Дайте відповідь на запитання

1. Чому виникає тиск рідин?
2. Від чого залежить гідростатичний тиск рідини?
3. Які величини треба знати, щоб обчислити гідростатичний тиск рідини на стінки посудини?
4. Чи залежить тиск рідини від форми посудини?
5. Як розміщуються поверхні однорідної рідини в сполучених посудинах? різних рідин?

?! Поясніть

1. Однакового чи різного тиску зазнають два водолази (мал. 178), які перебувають на дні озера?



Мал. 178. Чи однаковий тиск?

2. Кран K між посудинами з водою, зображеними на малюнку 179, закритий. Поясніть, що буде відбуватись, якщо кран відкрити.



Мал. 179. Що відбудеться, якщо кран відкрити?

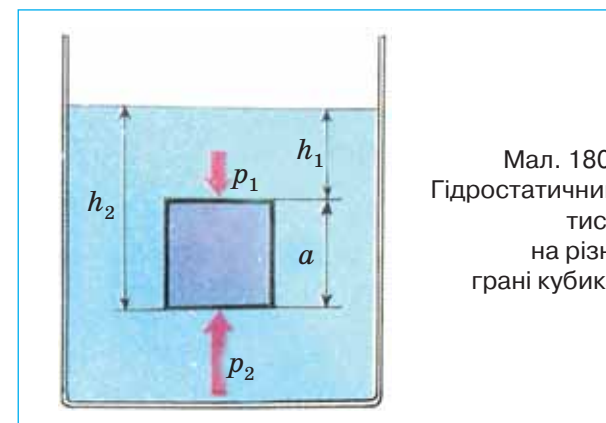
ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Задача 1. Визначте тиск, що діє на нижню і верхню поверхні кубика, який міститься у воді (мал. 180). Довжина ребра кубика 5 см, а глибина занурення верхньої грані — 10 см.

Дано:
 $a = 5 \text{ см}$
 $h_1 = 10 \text{ см}$

$p_1 = ?$
 $p_2 = ?$

Розв'язання



Мал. 180. Гідростатичний тиск на різні грані кубика

На верхню грань кубика діє тиск стовпа рідини заввишки h_1 (див. мал. 180): $p_1 = \rho g h_1$.

Тиск на нижню грань визначається стовпом рідини заввишки $h_2 = h_1 + a$.

За законом Паскаля, цей тиск діє знизу вгору:

$$p_2 = \rho g h_2 = \rho g (h_1 + a).$$

$$p_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,98 \text{ кПа};$$

$$p_2 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,15 \text{ м} = 1,47 \text{ кПа}.$$

Відповідь: на верхню грань діє тиск 0,98 кПа, на нижню — 1,47 кПа.

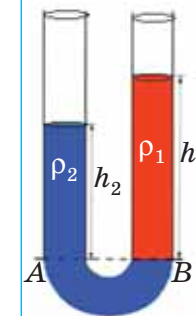
Задача 2. У праве коліно сполучених посудин налито олію, а в ліве — воду. Висота стовпа олії дорівнює 10 см. Яка висота стовпа води, виміряна від межі поділу олії і води? Густина олії 900 кг/м^3 .

Дано:
 $h_1 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$
 $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$
 $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$
 $h_2 = ?$

Розв'язання

Зробимо схематичний малюнок до задачі (мал. 181).

Лінія AB на малюнку — межа поділу олії й води. За властивістю сполучених посудин, $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$. Звідси $h_2 = \frac{\rho_1 h_1}{\rho_2}$.



Мал. 181. Сполучені посудини

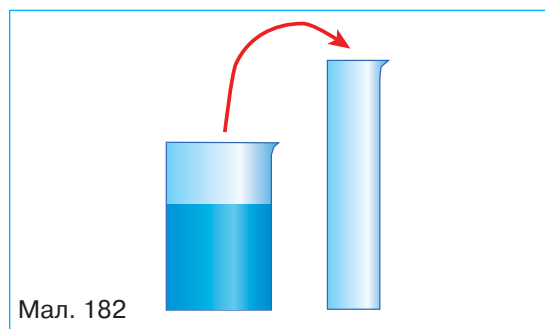
Підставляємо числові значення:

$$h_2 = \frac{900 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 0,1 \text{ м}}{1000 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}} = 0,09 \text{ м}.$$

Відповідь: $h_2 = 9 \text{ см}$.

Вправа 17

1. Зі скляного циліндра воду переливають у посудину, площа дна якої у два рази менша і яка має форму, зображену на малюнку 182. Яким буде тиск на дно цієї посудини в порівнянні з попереднім випадком?



Мал. 182

2. Куб, довжина ребра якого 10 см, занурюють у воду так, що його верхня грань знаходиться на глибині 15 см. Визначте силу тиску води на нижню і бічну грані.
3. Бак, площа основи якого $100 \times 60 \text{ см}^2$, а висота 40 см, повністю заповнений водою. Визначте силу тиску води на дно бака.
4. Акваріум, що має висоту 32 см, довжину 50 см і ширину 20 см заповнено водою, рівень якої нижче від краю на 2 см. Визначте тиск води на дно акваріума та вагу води. З якою силою вода тисне на стінку шириною 20 см?
5. Яку силу слід прикласти, щоб відкрити аварійний люк підводного човна на глибині 150 м? Площа люка — 4000 см^2 .
6. В одне з колін сполучених посудин, частково наповнених водою, налили шар нафти. Якою буде різниця рівнів води у сполучених посудинах, якщо висота стовпчика нафти 15 см?
7. У U-подібну трубку налили ртуть. В одне коліно доливають воду. Якої висоти повинен бути стовпчик води, щоб рівень ртуті у другому коліні піднявся на 1 см?
8. У циліндричну посудину налили рівні за масою кількості води і ртуті. Загальна висота стовпа рідини в посудині — 140 см. Визначте тиск на дно посудини.
9. Прямокутна посудина місткістю 2 л наповнена наполовину водою й наполовину — гасом. Дно посудини — квадратної форми зі стороною 10 см. Який тиск рідин на дно посудини? Яка вага рідин у посудині?

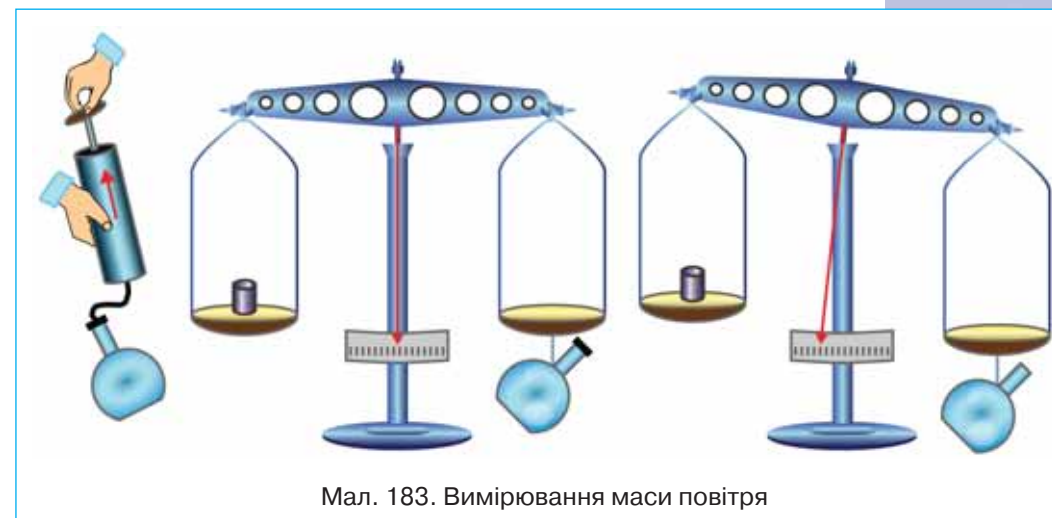
§ 25. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК

► **Ви дізнаєтесь**
Що таке атмосферний тиск

► **Пригадайте**
Як визначається гідростатичний тиск

МАСА ПОВІТРЯ. Навколо Землі існує повітряна оболонка — атмосфера, на яку діє земне тяжіння.

Спробуємо оцінити масу земної атмосфери. Для цього проведемо такий дослід. Із колби відомого об'єму відкачаємо повітря й зрівноважимо терези (мал. 183). Потім, відкривши колбу, впустимо в неї повітря. Рівновага терезів порушиться. Щоб її відновити, треба докласти на другу шальку терезів важки, маса яких і дорівнюватиме масі повітря в об'ємі колби.

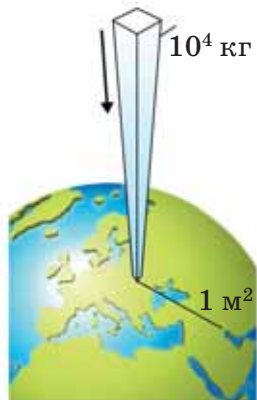


Мал. 183. Вимірювання маси повітря

Дослідами встановлено, що за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ об'єм 1 м^3 повітря має масу 1,29 кг.

Як показали дослідження з космосу, атмосфера сягає висоти 1500 км від поверхні Землі, і об'єм повітряної оболонки приблизно дорівнює $4 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$. Таким чином, маса всієї атмосфери приблизно дорівнює $5 \cdot 10^{18} \text{ кг}$, а це одна мільйонна частина маси Землі. З висотою атмосфера переходить у безповітряний простір, але чіткої границі атмосфери немає. Зі збільшенням висоти зменшується густина повітря. Уже на висоті близько 5,5 км густина повітря майже в 2 рази менша, ніж біля поверхні Землі.

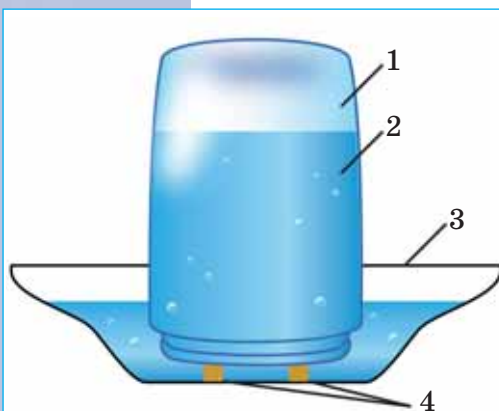
Відомо, що за добу через легені людини проходить 20—30 кг повітря! Для порівняння: маса повітря у класній кімнаті приблизно 30—40 кг!



Мал. 184. Сила атмосферного тиску



Мал. 185. Дія атмосферного тиску



Мал. 186. Поїлка для курчат

АТМОСФЕРНИЙ ТИСК. Під дією земного тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари. Поверхня Землі й тіла, що на ній перебувають, зазнають тиску всього повітряного шару. Унаслідок закону Паскаля, атмосферний тиск, створений усіма шарами повітря, біля поверхні Землі передається однаково в усіх напрямках.

Проведені дослідження дали змогу розрахувати тиск атмосферного повітря: на поверхню площею 1 м^2 атмосфера тисне з силою 10^5 Н (мал. 184), тобто тиск атмосфери становить 10^5 Па !

Чому ж люди не відчувають дії атмосферного тиску? Справа в тому, що кровоносні судини та інші порожнини організму, які заповнені рідинами чи газами, чинять на стінки судин і порожнин такий самий тиск. Тому тканини організму не деформуються, а атмосферний тиск не відчувається. Якщо ж зовнішній атмосферний тиск змінюється, то людина відчуває деякий дискомфорт.

На практиці дію атмосферного тиску використовують досить часто. Наприклад, завдяки дії атмосферного тиску можна набрати шприцем рідини (мал. 185).

Під час піднімання поршня між ним і рідиною утворюється безповітряний простір. У цей простір внаслідок атмосферного тиску і піднімається за поршнем рідина.

Розгляньте уважно малюнок 186 і поясніть принцип дії поїлки для курчат.

ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ. Виміряти атмосферний тиск можна за допомогою способу, запропонованого в XVII ст. італійським ученим Торрічеллі, учнем Галілея.

Дослід Торрічеллі (мал. 187) полягає ось у чому: скляну трубку завдовжки близько 1 м, запаяну з одного кінця, наповнюють ртуттю. Потім, щільно закривши другий кінець трубки, її перевертають, опускають у чашку із ртуттю і під ртуттю відкривають кінець трубки. Частина ртуті при цьому виливається в чашку, а частина залишається в трубці. Висота стовпа ртуті, яка залишалась у трубці, дорівнює приблизно 760 мм. У трубці над ртуттю повітря немає, там безповітряний простір.

Торрічеллі, який запропонував описаний вище дослід, сам і пояснив його. Атмосфера тисне на поверхню ртуті в чашці. Створений стовпом ртуті тиск зрівноважується атмосферним тиском, який не дає ртуті вилитись. Якби він був більший від атмосферного, то ртуть вилитася б із трубки в чашку, а якщо менший, — то піднімалася б у трубці вгору.

Звідси випливає, що **атмосферний тиск дорівнює тиску стовпа ртуті в трубці**. Вимірявши висоту стовпа ртуті, можна обчислити тиск, який чинить ртуть, — він і дорівнюватиме атмосферному тиску. Тому на практиці атмосферний тиск можна вимірювати висотою ртутного стовпа (у міліметрах або сантиметрах). Якщо, наприклад, атмосферний тиск дорівнює 780 мм рт. ст., то це означає, що повітря чинить такий самий тиск, як і вертикальний стовп ртуті висотою 780 мм. Отже, у цьому разі за одиницю атмосферного тиску взято 1 мм ртутного стовпа (1 мм рт. ст.).

Знайдемо співвідношення між цією одиницею та відомою вам одиницею тиску — паскалем.

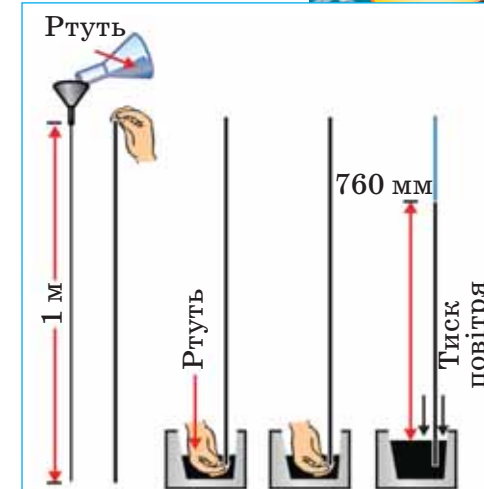
Визначимо тиск ртутного стовпа висотою 1 мм:

$$p = \rho gh .$$

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$p = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па} .$$

Отже **1 мм рт. ст. \approx 133,3 Па.**



Мал. 187. Дослід Торрічеллі

Мал. 188.
Ртутний
барометр



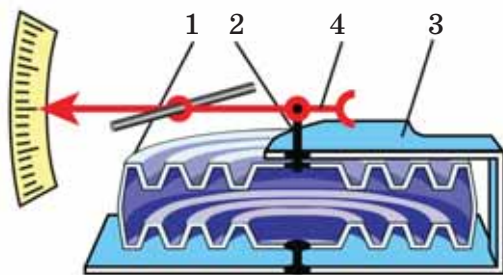
Спостерігаючи щодня за висотою ртутного стовпа в трубці, Торрічеллі встановив, що ця висота змінюється, тобто атмосферний тиск не сталий, він може збільшуватися і зменшуватися. Торрічеллі помітив також, що зміни атмосферного тиску якось пов'язані зі зміною погоди. **Нормальним атмосферним тиском** вважають тиск 760 мм рт. ст.

Оскільки густина атмосфери зменшується з висотою, то атмосферний тиск також зменшується із висотою підйому. При невеликих підйомах у середньому на кожні 12 м підйому тиск зменшується на 1 мм рт. ст. (або на 133 Па).

БАРОМЕТРИ. Прикріпивши до трубки із ртуттю в досліді Торрічеллі вертикальну шкалу, дістають найпростіший *ртутний барометр* (від грец. *барос* — вага, та *метрео* — вимірюю) — прилад для вимірювання атмосферного тиску (мал. 188).

Ртутний барометр є досить чутливим і точним приладом, проте користуватись ним досить незручно. Тому в техніці й побуті значного поширення набули металеві барометри — *анероїди*, що означає «безрідинні».

Головна частина барометра — металева коробочка 1 з хвилястою (гофрованою) поверхнею (мал. 189, а). З цієї коробочки відкачано повітря, а щоб атмосферний тиск її не роздавив, пружина 2 відтягує кришку коробочки вгору. Коли атмосферний тиск збільшується, кришка прогинається вниз і натягує пружину. Із зменшенням атмосферного тиску пружина випрямляє кришку. До пружини за допомогою передавального механізму 3 прикріплено стрілку-показчик 4, яка від зміни тиску пересувається вправо або вліво. Під стрілкою закріплено шкалу, поділки якої нанесено за показами ртутного барометра. Зовнішній вигляд барометра-анероїда зображено на мал. 189, б.



а



б

Мал. 189. Схема будови анероїда
та його зовнішній вигляд

Знаючи залежність тиску від висоти, можна за зміною показів барометра визначити висоту над рівнем моря. Анероїди, що мають шкалу, за якою безпосередньо можна відлічити висоту, називають *висотомірами*. Їх застосовують в авіації та під час сходження на гори.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Поверхня землі й тіла, що на ній перебувають, зазнають тиску всього повітряного шару — атмосферного тиску.

Нормальний атмосферний тиск становить 760 мм рт. ст. (або 10^5 Па).

Атмосферний тиск вимірюють барометрами.

ЦІКАВІ ФАКТИ



Еванджеліста Торрічеллі
(1608—1647) —
італійський фізик
і математик



Отто фон Геріке
(1602—1686) —
німецький фізик,
інженер та філософ

У 1654 р., через 11 років після відкриття Торрічеллі, дію атмосферного тиску було наочно показано бургмістром м. Магдебурга Отто фон Геріке. Щоб довести існування атмосферного тиску, він відкачав повітря з порожнини між двома металевими півсферами, складеними разом. Зовнішній атмосферний тиск так сильно притиснув півкулі одну до одної, що їх не могли розірвати вісім пар коней.

Ілюстрація знаменитого досліду з магдебурзькими півкулями відображена на гравюрах, марках (мал. 190).



Мал. 190. Марки із зображенням досліду Геріке

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що являє собою атмосфера Землі? Унаслідок чого створюється атмосферний тиск?
2. Наведіть приклади, які підтверджують існування атмосферного тиску.
3. Чому не можна визначити тиск повітря так само, як визначають тиск рідини на дно або стінки посудини?
4. Хто і як вперше виміряв атмосферний тиск? Які одиниці атмосферного тиску?
5. Якими приладами вимірюють атмосферний тиск?



Поясніть

1. У пластмасовій пляшці зробили невеликі отвори. Якщо пляшка закрита, рідина з отворів практично не витікає. Чому ж вона починає витікати, якщо відкрити пляшку (мал. 191)?



Мал. 191. Чому витікає вода?



Мал. 192. Чому порушується рівновага?

2. На малюнку 192 показано дві однакові повітряні кульки, які урівноважені на терезах. Чому порушується рівновага, якщо одну з кульок лопнути?
3. Поясніть, чому в рідинних барометрах використовують ртуть, а не воду.
4. Поясніть, чому важко пити із пляшки, якщо щільно охопити її шийку губами.

МОЇ ФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дію атмосферного тиску можна перевірити самостійно. Для цього вам знадобляться склянка з водою і лист паперу (див. мал. 193). (Примітка: дослід проводити над раковиною.)



Мал. 193. Дія атмосферного тиску

ФІЗИКА НАВКОЛО НАС

МАНОМЕТРИ

Манометри — прилади для вимірювання тиску. Рідинний манометр складається з металевого або дерев'яного вертикального корпусу, на якому закріплена U-подібна скляна трубка і шкала для вимірювання висоти рівня рідини в кожному коліні трубки. Один із кінців трубки відкритий. До іншого кінця приєднана гумова або пластмасова трубка для з'єднання манометра з резервуаром, у якому потрібно виміряти тиск. На кінці трубки міститься коробочка, вкрита тонкою гумовою плівкою. На малюнку 194 показано, як таким манометром можна вимірювати тиск усередині рідини. Чим глибше занурюють у рідину коробочку, тим більшою стає різниця висот стовпчиків рідини в колінах манометра, тим, отже, і більший тиск чинить рідина. Якщо встановити коробочку приладу на якій-небудь глибині всередині рідини й повертати її плівкою вгору, вбік і вниз, то покази манометра при цьому не змінюватимуться. Так і має бути, адже на тому самому рівні всередині рідини тиск у всіх напрямках однаковий.

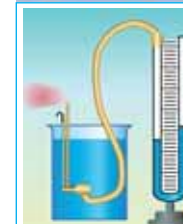
У техніці застосовують металеві манометри (мал. 195).

Основна частина такого манометра — зігнута в дугу металева трубка 1, один кінець якої закритий. Другий кінець трубки за допомогою крана 4 сполучений із посудиною, в якій вимірюють тиск. Коли тиск збільшується, трубка розгинається, і рух закритого кінця її за допомогою важеля 5 та зубчатки 3 передається стрілці 2, яка рухається по шкалі приладу.

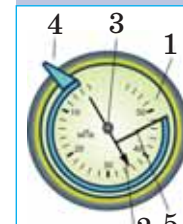
НАСОСИ

Поршневий рідинний насос схематично зображений на малюнку 196. Основна його частина — циліндр, усередині якого рухається вгору і вниз поршень 1, що щільно прилягає до стінок. У нижній частині циліндра і в самому поршні встановлено клапани 2, які відкриваються тільки вгору. Коли поршень рухається вгору, вода під дією атмосферного тиску входить у трубу, піднімає нижній клапан і рухається за поршнем.

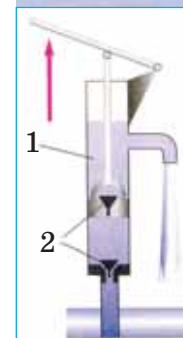
Коли поршень рухається вниз, вода під ним тисне на нижній клапан, і цей клапан закривається. Одночасно під тиском води відкривається клапан усередині поршня, і вода переходить у простір над поршнем. При подальшому русі поршня вгору разом із ним піднімається і вода, що є над поршнем, виливаючись у відвідну трубу. Одночасно за поршнем піднімається нова порція води, яка при наступному опусканні поршня буде вже над ним, і т. д. Рідинний поршневий насос підіймає воду з глибини, не більшої за 10 м. Таке обмеження пояснюється тим, що нормальний атмосферний тиск урівноважується стовпом води заввишки 10,336 м.



Мал. 194. Вимірювання тиску рідини на різних глибинах



Мал. 195. Металевий манометр



Мал. 196. Рідинний поршневий насос

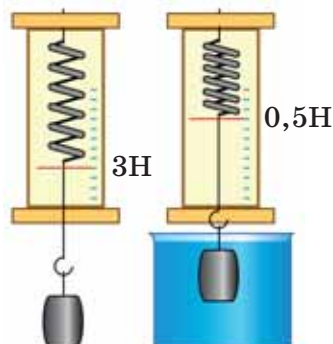
§ 26. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА

► Ви дізнаєтесь

Що таке виштовхувальна сила
Як визначати виштовхувальну силу

► Пригадайте

Як визначається гідростатичний тиск
Як визначається рівнодійна двох протилежно напрямлених сил



Мал. 197. На тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила

ДІЯ РІДИНИ Й ГАЗУ НА ЗАНУРЕНЕ В НИХ ТІЛО. Вам, можливо, доводилося відмічати, що під водою легше підняти камінь, який з великим зусиллям доводиться піднімати в повітрі. Якщо занурити корок під воду й випустити його з руки, то він випливе. Аналізуючи ці явища, можна припустити, що в рідині діє якась сила, що напрямлена вгору. Перевіримо свою гіпотезу на досліді.

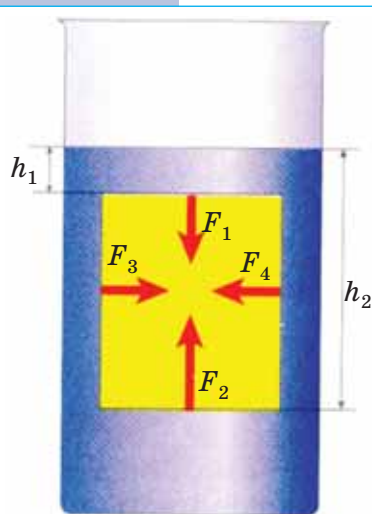
Прив'яжемо до динамометра тягарець. Опустимо тягарець у посудину з водою. Бачимо, що покази динамометра зменшились (мал. 197). Такий самий ефект можна отримати в тому випадку, якщо знизу діяти якоюсь силою, наприклад, піднімати рукою тягарець. Наша гіпотеза підтверджена дослідом.

Отже, на тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, її називають ще *архімедовою силою*, або *силою Архімеда* на честь давньогрецького вченого — Архімеда, який уперше довів існування цієї сили і визначив її. Позначають силу Архімеда F_A .

Спробуємо з'ясувати, від чого залежить виштовхувальна сила і як її розраховувати.

Ви знаєте, що рідина тисне на дно і стінки посудини, а якщо всередину рідини помістити яке-небудь тверде тіло, то воно також зазнаватиме тиску.

Розглянемо сили, які діють з боку рідини на занурене в неї тіло. Щоб легше було міркувати, виберемо тіло, яке має форму паралелепіпеда з основами, паралельними поверхні рідини (мал. 198). Сили, які діють на бічні грані тіла, попарно однакові й



Мал. 198. Дія рідини на занурене в неї тіло

зрівноважують одна одну ($F_3 = F_4$). Під дією цих сил тіло тільки стискається. А сили, що діють на верхню і нижню грані тіла, не однакові. На верхню грань тисне зверху із силою F_1 стовп рідини висотою h_1 . На рівні нижньої грані тіла тиск створює стовп рідини висотою h_2 . Цей тиск передається всередині рідини в усі боки. Отже, на нижню грань тіла знизу вгору із силою F_2 тисне стовп рідини висотою h_2 . Але h_2 більша від h_1 , значить, і модуль сили F_2 більший за модуль сили F_1 . Тому тіло виштовхується з рідини із силою F_A , що дорівнює різниці сил F_2 і F_1 , тобто:

$$F_A = F_2 - F_1.$$

Визначимо цю виштовхувальну силу. Сили F_2 і F_1 , які діють на верхню і нижню грані паралелепіпеда, можна обчислити за їх площами S_1 і S_2 і тиском рідини на рівнях цих граней p_1 і p_2 :

$$F_1 = p_1 S_1 \text{ і } F_2 = p_2 S_2, \text{ де } p_1 = \rho g h_1, \text{ } p_2 = \rho g h_2.$$

Оскільки площі основ паралелепіпеда однакові, тобто $S_1 = S_2 = S$, то для виштовхувальної сили отримаємо:

$$F_A = F_2 - F_1 = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S (h_2 - h_1) = \rho g S h = \rho g V,$$

де також враховано, що різниця рівнів води, відповідних його нижній і верхній граням, дорівнює висоті паралелепіпеда, тобто $h_2 - h_1 = h$, а добуток $Sh = V$ — це об'єм паралелепіпеда.

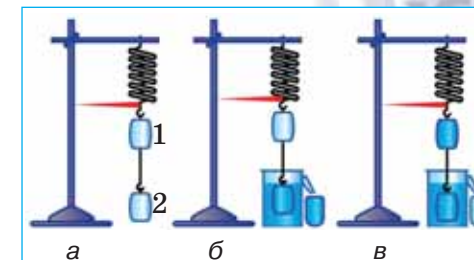
Із отриманої формули $F_A = \rho g V$ випливає, що **виштовхувальна сила Архімеда прямо пропорційно залежить від густини рідини, в яку занурене тіло, і від об'єму цього тіла.**

Якщо одне й те саме тіло занурювати в рідини з різними густинами, то чим більшою є густина рідини, тим більша виштовхувальна сила діє на занурене тіло.

Якщо занурювати в рідину тіла з однакової речовини, але різного об'єму, то на тіло більшого об'єму діє більша виштовхувальна сила.

Виштовхувальна сила також не залежить від речовини, з якої виготовлене тіло, і не залежить від глибини занурення. Якщо занурювати в рідину тіла, виготовлені з різних матеріалів, але однакового об'єму, то виштовхувальна сила буде однаковою. При цьому в повітрі ці тіла матимуть різну вагу.

ЗАКОН АРХІМЕДА. Проведемо дослід із так званим «відерцем Архімеда» (мал. 199). Підвісимо порожнє відерце 1 і суцільний циліндр 2, об'єм якого такий самий, як місткість відерця.



Мал. 199. Дослід із «відерцем Архімеда»

Опустимо циліндр у посудину, в якій налито води по рівень відливної трубки. Занурюючись, циліндр витіснить певну кількість води, яка переллється у склянку. Покази динамометра при цьому зменшаться. Переллємо воду із склянки у відерце. Бачимо, що покази динамометра стали такими самими, як і на початку досліду.

Це означає, що виштовхувальна сила дорівнює вазі рідини в об'ємі зануреного в неї тіла.

Виштовхувальна сила діє й у газах. Сила, яка виштовхує тіло з рідини або газу, направлена протилежно силі тяжіння, прикладеній до цього тіла, тому якщо яке-небудь тіло зважити в рідині або газі, то його вага буде менша від ваги у вакуумі (пустоті).

Отримані висновки є *законом Архімеда*.

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі цього тіла.

Закон Архімеда діє лише в умовах земного тяжіння. У невагомості закон Архімеда не діє.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Закон Архімеда: на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі цього тіла: $F = \rho g V$, де ρ — густина речовини, в яку повністю занурене тіло об'ємом V .

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
2. Від чого залежить виштовхувальна сила?
3. Сформулюйте закон Архімеда



Поясніть

1. Чому по кам'янистому дну річки не так боляче ходити босими ногами, як по кам'янистому березі?
2. Чому виштовхувальна сила завжди напрямлена вгору?
3. Чому виштовхувальна сила, що діє на тіло в рідині, у багато разів більша за виштовхувальну силу, що діє на те саме тіло в будь-якому газі?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Розв'яжемо задачу, яку цар Гієрон задав Архімеду: перевірити, чи з чистого золота зроблена його корона.

Архімед визначив, що вага корони в повітрі 9,8 Н, а у воді — 9,2 Н.

Дано:

$$P_1 = 9,8 \text{ Н}$$

$$P_2 = 9,2 \text{ Н}$$

$$\rho_{\text{к}} = ?$$

Розв'язання

Визначимо виштовхувальну силу, що діє на корону у воді: $F = P_1 - P_2$. Враховуючи, що виштовхувальна сила визначається за формулою $F = \rho g V$, маємо: $P_1 - P_2 = \rho g V$.

$$\text{Звідси об'єм корони: } V = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

Масу корони виразимо із формули ваги: $P_1 = mg$, $m = \frac{P_1}{g}$.

Тоді густина речовини, з якої виготовлена корона:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{m}{V} = \frac{P_1 \rho g}{g(P_1 - P_2)} = \frac{P_1 \rho}{P_1 - P_2}$$

Підставляючи числові значення отримуємо:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{9,8 \text{ Н} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{9,8 \text{ Н} - 9,2 \text{ Н}} \approx 16300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Як відомо, густина золота дорівнює 19 300 кг/м³. Отже, корону виготовлено не з чистого золота.

$$\text{Відповідь: } \approx 16300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вправа 18

1. На тіло, занурене у воду, діє виштовхувальна сила 5 Н. Яка виштовхувальна сила діятиме на це тіло, якщо його занурити в гас?
2. На тіло, вага якого в повітрі 7,8 Н, при зануренні у воду діє виштовхувальна сила 1 Н. Із якої речовини виготовлено тіло?
3. На тіло, занурене в спирт, діє виштовхувальна сила 19,2 Н. Коли це тіло занурили в іншу рідину, то виштовхувальна сила стала дорівнювати 24 Н. Визначте об'єм тіла й густину невідомої речовини.
4. Алюмінієву кулю вагою 108 Н, підвішену до троса, занурили у воду. З якою силою розтягується трос?
5. Якого найменшого об'єму має бути надувний човен масою 7 кг, щоб утримати хлопчика, вага якого 380 Н?
6. Площа крижини 8 м², товщина 25 см. Чи зануриться вона повністю у прісну воду, якщо на неї стане людина вагою 600 Н?
7. Яку силу треба прикласти, щоб підняти під водою камінь масою 30 кг, об'єм якого 0,012 м³?
- 8*. Прямокутна коробочка, маса якої 76 г, площа основи 38 см² і висота 6 см, плаває у воді. Визначте висоту надводної частини коробочки.
- 9*. Надводна частина айсберга має об'єм 500 м³. Визначте об'єм всього айсберга.



Мал. 200. Плавання та повітроплавання

І сила тяжіння, і виштовхувальна (архімедова) сила для одного й того самого тіла залежать тільки від густини рідини і густини тіла ($F_{\text{тяж}} = g\rho_{\text{т}}V_{\text{т}}$ і $F_{\text{в}} = g\rho_{\text{р}}V_{\text{т}}$). Очевидно, що сила тяжіння більша за виштовхувальну тоді, коли густина тіла більша за густину рідини. І навпаки, сила тяжіння менша від виштовхувальної, коли густина тіла менша від густини рідини. Знаючи густину тіла і густину рідини, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині:

якщо густина тіла більша за густину рідини $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{р}}$, то воно тоне;

якщо густина тіла дорівнює густині рідини $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{р}}$, то тіло не тоне і не спливає;

якщо густина тіла менша від густини рідини $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{р}}$, то тіло спливає.

Усім відомо, що лід плаває на поверхні води, оскільки його густина менша від густини води. Чим меншою є густина тіла порівняно з густиною рідини, тим менша його частина занурена в рідину. Тож можете порівняти, яка частина айсберга знаходиться над водою, а яка — під водою.

Судна, які плавають по річках, озерах і морях, збудовані з різних матеріалів неоднакової густини (мал. 200). Особливістю їх виготовлення є те, що вага води, яку витісняє підводна частина судна, дорівнює вазі судна з вантажем у повітрі або силі тяжіння, що діє на судно з вантажем.

Виштовхувальну силу, яка діє в повітрі на всі тіла, використовують, створюючи літальні апарати, легші від повітря.

З'ЯСУВАННЯ УМОВ ПЛАВАННЯ ТІЛА

- ▶ **Мета роботи:** експериментально встановити умови плавання тіл.
- ▶ **Обладнання:** важільні терези, набір важків, пробірка з корком, сухий пісок, фільтрувальний папір, гачок із жорсткої дротини, мензурка з водою.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Визначте ціну поділки мензурки. Зрівноважте терези.
2. Вийнявши корок із пробірки, насипте в неї сухого піску на $3/4$ її об'єму.
3. Закривши пробірку корком, обережно опустіть її в мензурку з водою. Спостереженням встановіть, у якому стані перебуває мензурка (тоне, плаває у воді, спливає на її поверхню).
4. Визначити об'єм пробірки.
5. Вийміть за допомогою гачка пробірку з води і, висушивши її фільтрувальним папером, виміряйте її масу на важільних терезах.
6. Обчисліть виштовхувальну силу і силу тяжіння, які діють на пробірку з піском. Порівняйте ці сили.
7. Поступово відсипаючи пісок із пробірки або підсипаючи в неї та щоразу занурюючи її в мензурку з водою, досягніть того, щоб занурена пробірка плавала у воді на будь-якій глибині, не спливаючи й не тонучи.
8. Вийміть пробірку з води і, висушивши фільтрувальним папером, виміряйте її масу на терезах.
9. Розрахуйте виштовхувальну силу та силу тяжіння, які діють на пробірку з піском. Порівняйте ці сили.
10. Відсипте пісок із пробірки, залишивши його об'єм близьким $1/5$ об'єму пробірки. За допомогою гачка занурте пробірку у воду та відпустіть. Простежте за поведінкою пробірки. Виміряйте об'єм зануреної частини пробірки.
11. Вийнявши пробірку і висушивши її, виміряйте її масу. Обчисліть силу тяжіння й архімедову силу та порівняйте їх.
12. Результати вимірювань і розрахунків записати в таблицю. Зробіть висновки.

Об'єм пробірки $V, \text{ м}^3$	Архімедова сила $F_{\text{А}}, \text{ Н}$	Маса пробірки з піском $m, \text{ кг}$	Сила тяжіння $F_{\text{тяж}}, \text{ Н}$	Порівняння сил $F_{\text{А}}$ і $F_{\text{тяж}}$	Спостережуване явище

НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ РОЗВИТОК СУДНО- ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

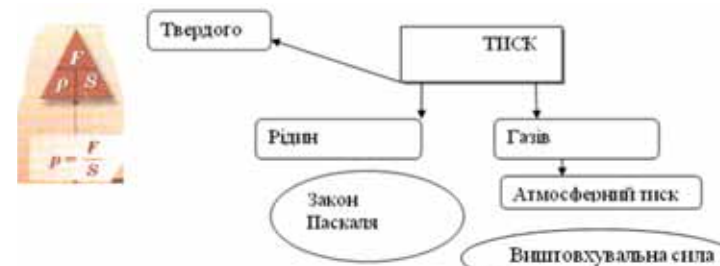
Виконувати цей проект краще групами по декілька учнів. Кожна з груп досліджує своє коло питань. Одній із груп можна доручити виготовити саморобну повітряну кулю (див. мал. 201).



Мал. 201. Саморобна повітряна куля

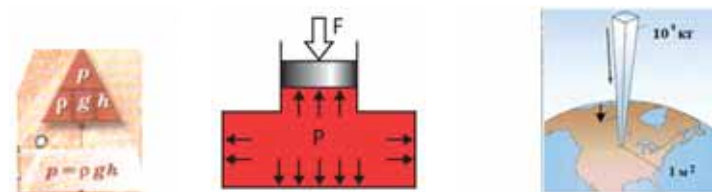
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ до розділу «СИЛА ТИСКУ. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ»

- Результат дії сили залежить не лише від її значення, напрямку і точки прикладання, а й від площі поверхні, перпендикулярно до якої прикладена сила: чим меншою є площа, на яку діє сила тим більший тиск, і навпаки — чим більшою є площа — тим менший тиск (мал. 202).



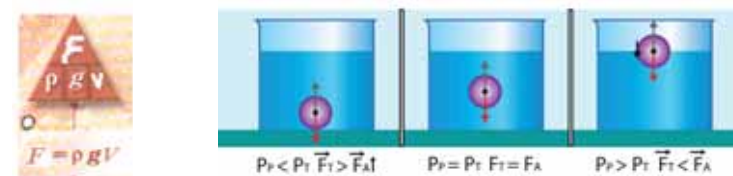
Мал. 202. Тиск твердих тіл, рідин і газів

- Тиск, що утворюється під дією сили на тверді тіла, передається ними в напрямі дії сили.
- Тиск, який діє на рідину (газ) передається в кожен точку рідини (газу) без змін (закон Паскаля).
- Тиск газів зумовлений ударами молекул об стінки посудини.
- Тиск всередині рідини (гідростатичний тиск) зумовлений силою тяжіння, залежить від густини рідини та висоти стовпа рідини.
- Атмосферний тиск зумовлений дією сили тяжіння на повітря, що оточує Землю (мал. 203).



Мал. 203. Гідростатичний тиск. Атмосферний тиск

- На занурене в рідину (газ) тіло діє виштовхувальна сила (архімедова), напрямлена вертикально вгору, яка чисельно дорівнює вазі рідини (газу) в об'ємі зануреної частини тіла (мал. 204).



Мал. 204. Виштовхувальна сила

ПЕРЕВІР СВОЇ ЗНАННЯ

1. Тиск рідини на дно й стінки посудини розраховують за формулою.

- А. ρgh
- Б. ρgV
- В. mg
- Г. $\frac{F}{S}$

2. Вкажіть прилад, який використовують для вимірювання атмосферного тиску.

- А. динамометр
- Б. барометр
- В. альтиметр
- Г. манометр

3. Який тиск чинить тіло вагою 75 Н на опору, якщо її площа 0,25 м²?

- А. 0,003 Па
- Б. 18,75 Па
- В. 75,25 Па
- Г. 300 Па

4. Склянку заввишки 12 см до краю наповнили водою. Визначте тиск води на дно склянки.

- А. 1,2 Па
- Б. 12 Па
- В. 120 Па
- Г. 1200 Па

5. На яке з тіл, зображених на малюнку 205, діє найбільша виштовхувальна сила?

- А. на тіло 1
- Б. на тіло 2
- В. на тіло 3
- Г. на всі тіла діють однакові виштовхувальні сили

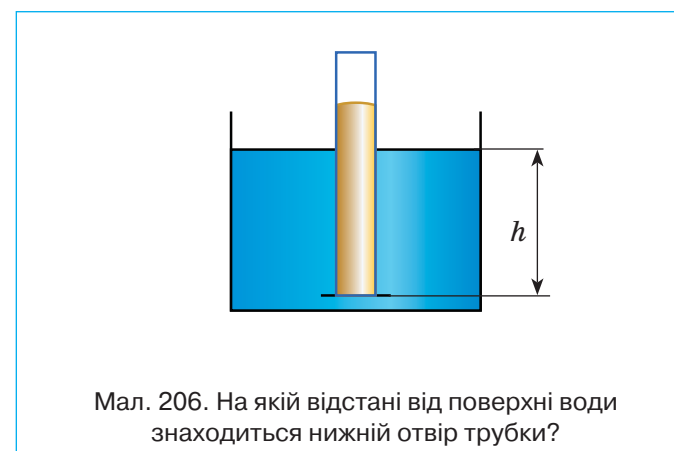


6. На столі стоїть суцільний куб з алюмінію. Яка маса куба, якщо на стіл він створює тиск 2,7 кПа?

7. Визначити об'єм шматка скла, повністю зануреного у воду, якщо на нього діє виштовхувальна сила 250 Н.

8. Шматок срібла в повітрі важить 0,42 Н. Визначте його вагу в спирті.

9. У посудину з водою опущена трубка, нижній отвір якої закрито легеньким диском з картону (мал. 206). Диск відпадає, якщо в трубку налити шар олії висотою 30 см. На якій відстані від поверхні води знаходиться нижній отвір трубки?



10. Щоб утримати у воді цеглину масою 5 кг, необхідно прикласти силу 30 Н. Яке значення виштовхувальної сили, що діє на цеглину?

11. Для піднімання з дна озера гранітної брили прикладають зусилля 2,4 кН. Який об'єм брили?

12. У циліндричну посудину налито однакові об'єми води і нафти так, що їх загальна висота становить 18 см. Який тиск чинять рідини на дно посудини?

13. Яку силу необхідно прикласти, щоб підняти із дна водоймища шматок граніту об'ємом 12 дм³?

14. В алюмінієву каструлю масою 400 г налили 3,2 л води. Визначити тиск, який чинить каструля з водою на стіл, якщо діаметр дна каструлі — 30 см.

РОЗДІЛ

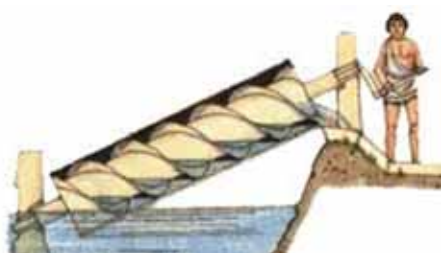
5

МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

Найсильніші люди планети можуть підняти вантажі масою 200–250 кг, прикладаючи відповідно при цьому силу 2000–2500 Н. А як піднімали важкі кам'яні брили, з яких будували піраміди в Єгипті, колони, куполи та дзвони під час зведення храмів? Уже в далекі часи виникла потреба мати пристрої, які б дали можливість отримати виграш у силі. Найдавніші винаходи людства, такі як блок, важіль, коловорот, колесо, похила площина, клин, гвинт, і досі є незамінними елементами найсучасніших машин і механізмів. Більшість цих винаходів належать давньогрецькому інженеру-винахіднику Архімеду. І знову звернемося до легенд про Архімеда. Легенда розповідає, що побудований у подарунок єгипетському царю Птолемею важкий багатопалубний корабель «Сіракузи» ніяк не вдавалося спустити на воду. Архімед спорудив систему блоків (поліспасть), за допомогою якої він зміг виконати цю роботу одним рухом руки. За легендою, Архімед заявив при цьому: «Дайте мені точку опори, і я переверну світ».

Інженерний геній Архімеда з особливою силою проявився під час облоги Сіраку з римлянами в 212 р. до н. е. Побудовані Архімедом потужні металеві машини (катапульти) закидали римські війська важкими каменями.

Винаходи Архімеда використовувались не тільки у військових цілях. Знаменитий «гвинт Архімеда» був використаний для підйому і подачі води в місто.



Вивчаючи розділ «Механічна робота та енергія», ви зможете пояснити принцип дії машин і механізмів, з'ясуєте що таке механічна робота, потужність, енергія, момент сили. Доведете, що неможливо побудувати «вічний двигун», що енергія не виникає і не зникає. Дізнаєтеся, що називають «золотим правилом механіки», як використовують енергію води та вітру. Навчіться розв'язувати задачі на визначення механічної роботи, енергії, потужності, коефіцієнта корисної дії механізму та інші.

§ 27. Механічна робота. Потужність

§ 28. Механічна енергія та її види

§ 29. Закон збереження й перетворення енергії

§ 30. Прості механізми. Момент сили

§ 31. Коефіцієнт корисної дії механізмів. «Золоте правило» механіки



§ 27. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ

► Ви дізнаєтесь

Що таке механічна робота
Коли механічна робота додатна,
коли від'ємна і коли дорівнює нулю
Що таке потужність

► Пригадайте

Що таке сила
Які результати дії сили

МЕХАНІЧНА РОБОТА. У повсякденному житті словом «робота» називають різні дії людини чи технічного засобу: робота у школі, робота двигуна, домашня робота тощо.

У фізиці термін «робота», або «механічна робота» — це фізична величина, а отже, її можна вимірювати, обчислювати, порівнювати.

Механічною роботою або роботою сили називають фізичну величину, що характеризує дію сили. Якщо на тіло діє постійна сила і тіло рухається під дією цієї сили, то кажуть, що сила виконує роботу. Наприклад, під дією сили тяжіння кулька, яка висить на нитці, падає на поверхню Землі, коли цю нитку перерізати. У такому разі кажуть, що сила тяжіння виконала роботу з переміщення кульки. Проте сила тяжіння, яка діє на нерухомий камінь, не виконує роботи. Адже камінь не змінює свого положення.

Значення роботи залежить від значень сили і шляху, на якому діє ця сила.

Механічна робота — це фізична величина, яка характеризує дію сили і визначається добутком F сили на шлях s , пройдений тілом у напрямі дії сили.

Якщо роботу позначити буквою A , то можна записати формулу для визначення роботи:

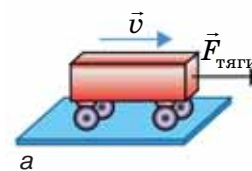
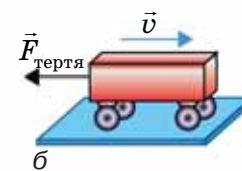
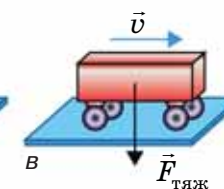
$$A = Fs.$$

Одиниця роботи — джоуль (1 Дж = 1 Н · м). Ця одиниця названа на честь англійського фізика Джеймса Джоуля.

Механічна робота може бути додатною або від'ємною. Якщо тіло здійснює рух у напрямі дії сили (мал. 207, а), то робота — додатна (наприклад, тіло рухається під дією сили тяги). Якщо тіло рухається у протилежний бік до напрямку дії сили (мал. 207, б), то робота від'ємна (наприклад, тіло зупиняється внаслідок дії сили тертя). Якщо напрям сили, що діє на тіло, перпендикулярний до напрямку переміщення тіла, то ця сила роботи не виконує — робота дорівнює нулю (мал. 207, в). Якщо тіло рухається без участі сил (за інерцією), у цьому разі механічна робота також не виконується.



Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — англійський фізик

 $A > 0$

 $A < 0$

 $A = 0$


Мал. 207. Випадки, коли механічна робота: а) додатна; б) від'ємна; в) дорівнює нулю

ПОТУЖНІСТЬ. Слово «потужність» нам також добре відоме. У фізиці термін «потужність» — це фізична величина, яка напряму пов'язана з роботою.

Наприклад, підйомний кран на будівництві за кілька хвилин піднімає на верхній поверх будинку кілька сотень цеглин. Коли б цю цеглу переносив робітник, то він витратив би кілька годин. Зрозуміло, що підйомний кран виконує ту саму роботу швидше, ніж робітник. Швидкість виконання роботи у фізиці характеризують особливою величиною, яку називають потужністю.

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і визначається відношенням роботи до часу, за який її було виконано.

Щоб обчислити потужність, треба значення роботи поділити на інтервал часу, за який цю роботу виконано:

$$N = \frac{A}{t},$$

де N — потужність, A — робота, t — час виконання роботи.

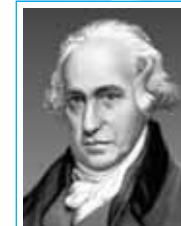
Одиниця потужності — ват ($1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$).

Одиниця потужності названа на честь англійського механіка Джеймса Уатта (1736—1819), який зробив значний внесок у теорію та практику побудови теплових двигунів.

Знаючи потужність і час, можна обчислити виконану роботу: $A = Nt$.

Швидкість виконання роботи пов'язана зі швидкістю руху тіла: $N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \frac{s}{t} = Fv$, де F — сила, яка виконує роботу, v — швидкість руху тіла.

Якщо відомі потужність двигуна і значення сил опору, то можна розрахувати можливу швидкість автомобіля чи іншої машини, яка виконує роботу: $v = \frac{N}{F}$.



Джеймс Уатт (1736–1819) — шотландський інженер, винахідник-механік

Отже, із двох автомобілів за рівних сил опору більшу швидкість матиме той, у якого потужність двигуна більша.

Часто застосовують одиницю роботи **кіловатгодину** ($1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$), а також позасистемну одиницю — **кінську силу** ($1 \text{ к. с.} = 735,5 \text{ Вт}$).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Механічна робота — це фізична величина, яка характеризує дію сили і визначається добутком сили на шлях, пройдений тілом у напрямі дії сили: $A = Fs$.

Механічна робота може буди додатною, від'ємною або дорівнювати нулю.

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи й визначається відношенням роботи до часу, за який її було виконано: $N = \frac{A}{t}$.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

Дайте відповідь на запитання

1. Яку роботу називають механічною? Яка формула виражає її зміст?
2. У яких випадках про силу можна сказати, що вона виконує додатну роботу?
3. Автомобіль рухається по рівній дорозі. Чи здійснює роботу сила тяжіння, що діє на автомобіль?
4. Чи завжди швидкість виконання роботи однакова? Наведіть приклади різної швидкості виконання роботи.
5. Як розрахувати потужність?

Поясніть

1. Чому людина, що піднімається на гору, виконує більшу роботу, ніж тоді, коли таку саму відстань вона проходить горизонтальною дорогою?
2. Чому навантажений автомобіль з тією самою потужністю двигуна рухається повільніше від ненавантаженого?

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Задача 1. Визначте роботу, яка виконується під час піднімання гранітної плити об'ємом $0,5 \text{ м}^3$ на висоту 20 м . Густина граніту 2500 кг/м^3 .

Дано:

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$h = 20 \text{ м}$$

$$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$$

$$A = ?$$

Розв'язання

Робота під час піднімання плити: $A = Fs$, де F — сила, яку треба прикласти, щоб рівномірно підняти плиту вгору, яка за модулем дорівнює силі тяжіння $F = mg$, що діє на плиту; $s = h$ — висота, на яку піднімають плиту.

Масу плити можна визначити, знаючи її об'єм і густину граніту: $m = \rho V$.

Отже, $A = \rho Vgh$.

$$A = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 20 \text{ м} = 245000 \text{ Дж} = 245 \text{ кДж}.$$

Відповідь: $A = 245 \text{ кДж}$.

Задача 2. Підіймальний кран працював 5 хв . За цей час була виконана робота 9 МДж . Яку потужність розвивав кран?

Дано:

$$t = 5 \text{ хв}$$

$$A = 9 \text{ МДж}$$

$$N = ?$$

СІ

$$300 \text{ с}$$

$$9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Розв'язання

За визначенням: $N = \frac{A}{t}$.

$$N = \frac{9 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{300 \text{ с}} = 3 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 30 \text{ кВт}$$

Відповідь: $N = 30 \text{ кВт}$.

Вправа 19

1. Яка робота виконується, коли кран піднімає вантаж масою 10 т на висоту 30 м ? Яка потужність крана, якщо цю роботу кран виконує за 2 хв ?
2. Гиря годинника має масу $0,8 \text{ кг}$ і за добу опускається на 120 см . Яка потужність такого механізму? Яка робота виконується при опусканні гирі?
3. Спортсмен піднімає штангу масою 125 кг на висоту $2,2 \text{ м}$ за $0,2 \text{ с}$. Яку потужність він при цьому розвиває?
4. Кран підіймає вантаж масою $4,6 \text{ т}$ на висоту 8 м . Двигун має потужність 12 кВт . Скільки часу затрачено на піднімання вантажу?
5. Поїзд проходить, рухаючись рівномірно, шлях 12 км за 10 хв . Потужність локомотива 3 МВт . Визначте силу тяги локомотива.
6. На шляху 50 м рівномірно переміщують санки масою 30 кг . Визначте виконану роботу, якщо сила тертя становить $0,06$ ваги санок.
7. На останній поверх найвищого у світі будинку висотою 440 м людина масою 60 кг піднялася за 44 хв . Яку середню потужність вона при цьому розвивала?

§ 28. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ ТА ЇЇ ВИДИ

► Ви дізнаєтесь

Що таке енергія
У якому випадку тіло має енергію
Які бувають види енергії

► Пригадайте

Що таке механічна робота
У якому випадку виконується
механічна робота



Мал. 208. Тіла, що мають енергію, можуть виконувати роботу

МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. Усім відоме слово — *енергія*. Поняття енергії увійшло в фізику тоді, коли було встановлено, що один вид руху може змінитися на інший. *Енергія* в перекладі з грецької означає *дія, діяльність*. Енергія — це універсальна характеристика будь-якого руху (механічного, теплового), і вона не існує сама по собі, тобто окремо від взаємодіючих тіл. Енергія, що характеризує механічний рух, називається *механічною енергією*, яка характеризує тепловий рух молекул — *внутрішньою енергією*. Розглянемо приклади.

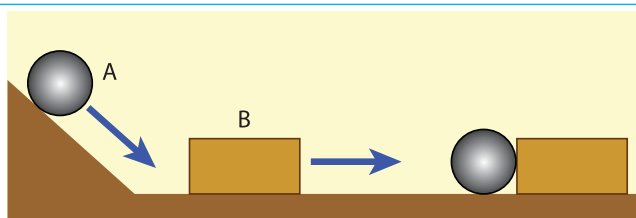
Приклад 1. Піднятий над землею нерухомий вантаж не виконує роботи, але якщо цей вантаж упаде, то він виконає роботу (наприклад, може розколоти горіх, мал. 208, а).

Приклад 2. Натягнута тятиву лука може виконати роботу з переміщення стріли (мал. 208, б).

Приклад 3. Здатність виконувати роботу має і всяке рухоме тіло. Так, стальна кулька (мал. 209), яка скотилася з похилої площини, ударившись об дерев'яний брусок, переміщує його на деяку відстань. При цьому виконується робота.

Якщо тіло або кілька тіл, які взаємодіють між собою (система тіл), можуть виконувати механічну роботу, то кажуть, що вони мають механічну енергію.

Механічна енергія — фізична величина, яка характеризує здатність тіла виконувати роботу.



Мал. 209. Рухома кулька виконує роботу з переміщення бруска

Позначають механічну енергію великою латинською літерою E .

Чим більшу роботу може виконувати тіло, тим більшу енергію воно має. Оскільки у процесі виконання роботи енергія тіла змінюється, то можна стверджувати, що **виконана робота дорівнює зміні енергії: $A = \Delta E$** .

Звідси випливає, що одиницею енергії є також джоуль (1 Дж).

Розрізняють два види механічної енергії: *потенціальну* і *кінетичну*. У прикладах 1 і 2 розглядалася потенціальна енергія, у прикладі 3 — кінетична.

ДВА ВИДИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. Повернемося знову до наших прикладів. Від чого залежить енергія піднятого вантажу? Очевидно, від висоти, на яку він піднятий або, іншими словами, від взаємного розташування тіл — горіха на поверхні землі та піднятого вантажу. Від чого залежить енергія натягнутої тятиви? Від її розтягу, тобто від деформації самої тятиви — наскільки зміщується середина тятиви від нульового положення.

Енергія, яка визначається взаємним положенням взаємодіючих тіл або частин одного й того ж тіла, називається *потенціальною* (від лат. «*потенція*» — *можливість*).

Підняте над поверхнею землі тіло, стиснута пружина, стиснутий газ, вода, що падає з греблі — усе це приклади тіл, що мають потенціальну енергію.

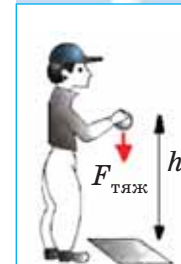
Потенціальна енергія — це енергія взаємодії тіл або частин тіла, яка визначається їх взаємним положенням.

Потенціальну енергію позначають $E_{\text{п}}$.

Найпростіше — розрахувати потенціальну енергію піднятого над землею тіла. Нехай тіло масою m падає з деякої висоти h (мал. 210). На тіло діє постійна сила тяжіння $F = mg$. Оскільки переміщення і напрям сили тяжіння співпадають, то робота сили тяжіння обчислюється за вже відомою формулою: $A = Fs = mgh$.

Таким чином, підняте над землею тіло має потенціальну енергію $E_{\text{п}} = mgh$.

Кінетична енергія — це енергія, яку має тіло внаслідок свого руху (від грец. «*кінема*» — *рух*). Автомобіль, що рухається, літак що летить, м'яч, що котиться — усі ці тіла мають кінетичну енергію.



Мал. 210. До розрахунку потенціальної енергії

Кінетична енергія — це фізична величина, яка характеризує рухоме тіло.

Кінетичну енергію позначають E_k .

Дослідами встановлено, що чим більшими є маса тіла і швидкість, з якою воно рухається, тим більша його кінетична енергія.

Кінетичну енергію розраховують за такою формулою:

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

де m — маса тіла, а v — його швидкість.

Кінетичну енергію тіл використовують у певних цілях. Так, піднята греблею вода має велику потенціальну енергію. Під час падіння з греблі вода рухається і має таку саму велику кінетичну енергію. Вона приводить у рух турбіну, яка з'єднана з генератором, що виробляє електричну енергію. В Україні, на Дніпрі, побудовано каскаді з 6 гідроелектростанцій.

А завдяки кінетичній енергії вітру обертаються лопаті вітряних електростанцій (мал. 211).



Мал. 211. Використання механічної енергії води та вітру

ПОВНА МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. Досить часто тіло одночасно має кінетичну і потенціальну енергії. Наприклад, літак, що летить. Унаслідок того, що він летить на деякій висоті над землею — він має потенціальну енергію і, зрозуміло, унаслідок свого руху — кінетичну енергію. Тобто повна механічна енергія літака $E = E_k + E_{\text{п}}$.

Ви ознайомилися з двома видами механічної енергії. Інші види енергії (електрична, внутрішня, тепла тощо) будуть розглянуті в інших курсах фізики.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Якщо тіло або декілька тіл, які взаємодіють між собою (система тіл), можуть виконувати механічну роботу, то кажуть, що вони мають механічну енергію.

Розрізняють два види механічної енергії: *потенціальну* і *кінетичну*.

Потенціальна енергія — це енергія взаємодії тіл або частин тіла, яка визначається їх взаємним положенням: $E_{\text{п}} = mgh$

Кінетична енергія — це фізична величина, яка характеризує рухоме тіло: $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

? Дайте відповідь на запитання

1. Що таке енергія?
2. Яка формула виражає зміст потенціальної енергії тіла, що перебуває на деякій висоті над землею?
3. Що таке кінетична енергія? Яка формула виражає її зміст?
4. Що таке повна механічна енергія?

?!> Поясніть

1. Чи можуть два тіла різної маси мати однакову кінетичну енергію? За якої умови?
2. За якої умови два тіла різної маси, підняті на різну висоту, матимуть однакову потенціальну енергію?

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. Яку роботу необхідно виконати, щоб потяг, який рухається зі швидкістю 72 км/год, збільшив свою швидкість до 108 км/год? Маса потяга 1000 т. Якою має бути сила тяги локомотива потяга, щоб це збільшення швидкості відбулось на ділянці довжиною 2 000 м?

Дано:	СІ	Розв'язання
$v_0 = 72$ км/год	20 м/с	Робота, яка виконується при розгоні потяга, визначається зміною його кінетичної енергії:
$v = 108$ км/год	30 м/с	
$m = 1 \cdot 10^6$ кг		
$s = 2 \cdot 10^3$ м		
$A = ?$		$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m}{2}(v^2 - v_0^2).$
$F = ?$		$A = \frac{10^6 \text{ кг}}{2} \left(900 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right) = 2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}$

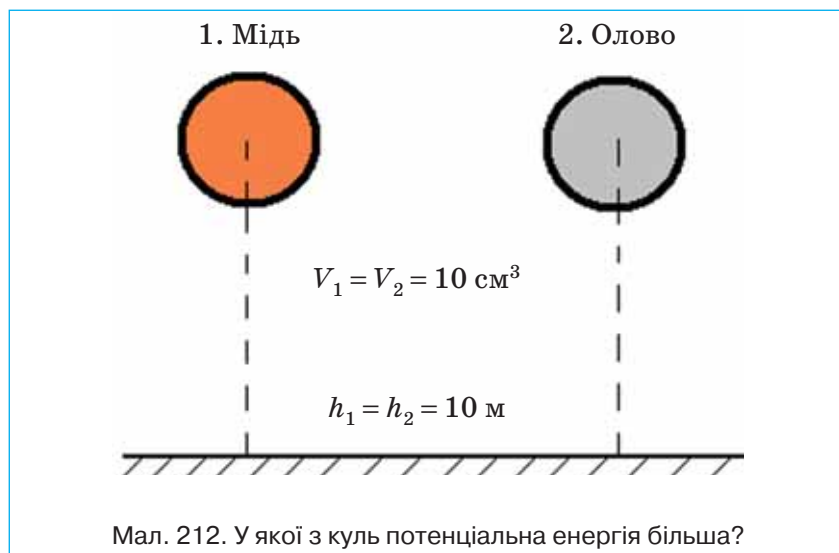
Силу тяги локомотива визначаємо із співвідношення: $A = Fs$.

$$F = \frac{A}{s} = \frac{2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}}{2 \cdot 10^3 \text{ м}} = 125 \text{ кН}.$$

Відповідь: $A = 2,5 \cdot 10^8$ Дж; $F = 125$ кН.

Вправа 20

1. Обчисліть потенціальну енергію космічного корабля масою 1400 кг на висоті 250 км над поверхнею Землі.
2. У скільки разів зміниться кінетична енергія автомобіля при збільшенні його швидкості від 5 м/с до 72 км/год?
3. На малюнку 212 вказано розташування двох куль відносно поверхні Землі. У котрої із цих куль потенціальна енергія більша й на скільки?



4. Тіло масою m під дією сили F змінило на шляху l свою швидкість від v_0 до v . Користуючись таблицею, визначте: а) зміну кінетичної енергії тіла; б) механічну роботу; в) силу, що діяла на тіло.

№ завдання	m	v_0	v	l
1	2 кг	2 м/с	3 м/с	10 м
2	400 г	4 м/с	2 м/с	2 м

6. Тіло масою 2 кг знаходиться на висоті 9 м над поверхнею Землі. На якій висоті тіло масою 3 кг має таку саму потенціальну енергію?

§ 29. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ Й ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

► Ви дізнаєтесь

Що таке закон збереження й перетворення енергії

► Пригадайте

Що таке енергія
Які види механічної енергії
Що таке повна механічна енергія

ПЕРЕТВОРЕННЯ ОДНОГО ВИДУ ЕНЕРГІЇ В ІНШИЙ.

У повсякденному житті вам часто доводилося спостерігати, як потенціальна енергія тіла перетворювалась в його кінетичну енергію, і навпаки, кінетична — в потенціальну. Розглянемо приклад перетворення потенціальної енергії тіла в кінетичну.

М'яч, піднятий над землею, має потенціальну енергію (мал. 213). Якщо утримувати м'яч — його кінетична енергія дорівнюватиме нулю. Як тільки відпустити м'яч, він почне падати. З кожною миттю висота його місцеперебування зменшуватиметься, а отже, зменшуватиметься і потенціальна енергія. У той самий час він набуває швидкості — отже, його кінетична енергія збільшуватиметься. Перед самим дотиком до землі потенціальна енергія м'яча дорівнює нулю, а кінетична енергія є максимальною. У цьому разі кажуть, що потенціальна енергія тіла перетворилась на кінетичну.

Також можна спостерігати перетворення кінетичної енергії в потенціальну. Якщо м'яч підкинути вертикально вгору (мал. 214), то відстань його від поверхні землі збільшуватиметься, відповідно збільшуватиметься потенціальна енергія. Швидкість м'яча, а відповідно і кінетична енергія його, з підйомом вгору зменшуватиметься.

ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ. У наведених прикладах бачимо, що якщо зменшується один вид енергії, то інший, навпаки, — збільшується. Дослідженнями було встановлено, що під час перетворення одного виду енергії в інший повна енергія залишається незмінною, зберігається.

Енергія не виникає і не зникає: вона лише переходить з одного виду в інший.

Цей закон має надзвичайно важливе теоретичне та практичне значення. Енергія має багато форм: механічну,





а



б

Мал. 215. Добування вогню тертям

теплову, електричну, ядерну, хімічну, світлову, біологічну та ін. Одна форма енергії може переходити в іншу.

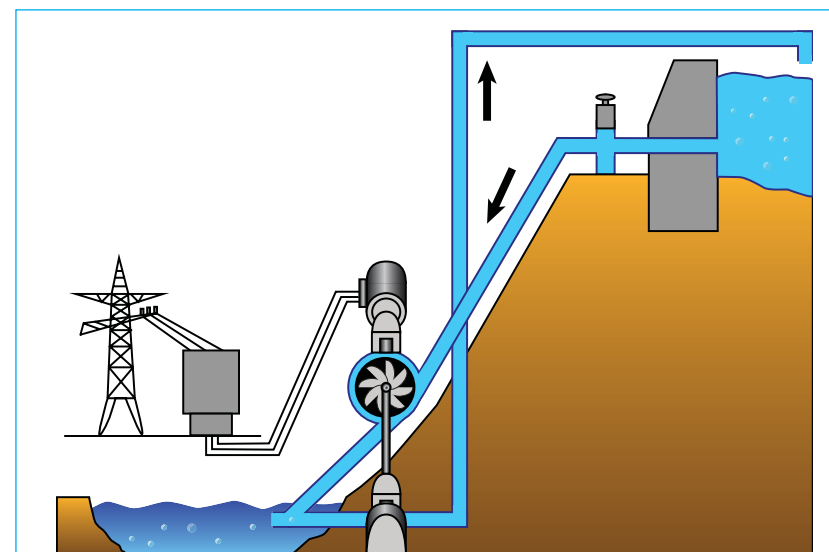
При цьому слід зазначити, що взаємодіючі тіла, між якими відбувається обмін механічною енергією, не взаємодіють з іншими тілами (кажуть, що вони утворюють замкнену систему).

Ще давні люди, які й гадки не мали про закон збереження і перетворення енергії, практично його застосовували. Ви запитаете, як? Пригадуєте, первісні люди добували вогонь тертям (мал. 215, а). Цей метод зберігся й до наших часів (мал. 215, б). Під час швидкого обертання палиці її кінетична енергія переходить у теплову.

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ. Однією з проблем енергетики світу є те, що споживання електроенергії впродовж доби є надто нерівномірними, існують періоди максимального навантаження (пікове навантаження) та мінімального навантаження на мережу. Але в той же час виробництво електроенергії впродовж доби є майже постійним, наприклад, потужність атомної електростанції можна змінювати дуже повільно, а отже, електроенергія виробляється весь час — як удень, так і вночі. Вітрогенератор і сонячні електростанції виробляють електроенергію тільки тоді, коли є носій енергії, і контролювати їх виробництво також складно.

Одним з виходів з даної ситуації є накопичення електроенергії в нічний час доби та використання її вдень. Найчастіше для цього використовують гідроакумулюючі електростанції (мал. 216).

У період, коли споживання електроенергії мале, вода з основної водойми не зливається через греблю, а продовжує обертати лопаті турбін, з'єднаних з генераторами. Виробле-



Мал. 216. Схема гідроакумулюючої електричної станції

ний електричний струм приводить у дію електричні двигуни насосів, які закачують воду у водойми, розміщені вище від рівня основної. У період збільшеного споживання струму вода з цієї водойми обертає турбіни й виробляє додаткову енергію.

Таким чином, кінетична енергія падаючої води перетворюється в потенціальну енергію води в додатковій водоймі, яка потім знову перетворюється в кінетичну енергію падаючої води.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Енергія не виникає і не зникає: вона лише переходить з одного виду в інший. Це — фундаментальний закон природи.

Закон збереження механічної енергії: під час взаємоперетворень потенціальної і кінетичної енергії їх повна сума для взаємодіючих тіл залишається сталою (за умови, що взаємодіючі тіла, між якими відбувається обмін механічною енергією, не взаємодіють з іншими тілами).

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ



Дайте відповідь на запитання

1. Сформулюйте закон збереження енергії.
2. У яких умовах виконується закон збереження повної механічної енергії в загальному вигляді?
3. Наведіть приклади перетворення одного виду механічної енергії в інший.

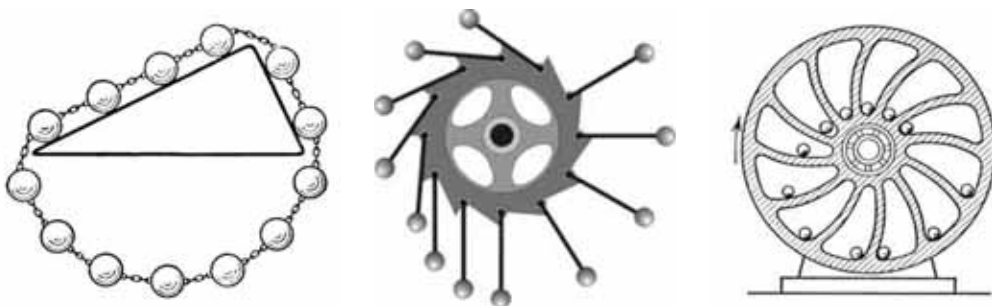
**Поясніть**

1. Під час скочування санок з гори їх швидкість безперервно збільшується. Чому?
2. Поясніть, які відбуваються перетворення енергії під час запуску стріли із лука.

**ФІЗИКА НАВКОЛО НАС**

Відкриття закону збереження і перетворення енергії спричинило закриття цілого напрямку в науці, коли вчені та винахідники намагалися створити пристрій, який виконував би роботу без споживання енергії зовні. Такий пристрій називають «вічним двигуном» (лат. *perpetuum mobile* — вічний рух).

У багатьох проектах вічного двигуна застосовують дію сили тяжіння. Приклади таких проектів показані на малюнку 217. У подібних механізмах деяке важке тіло здійснює замкнутий шлях; під час його опускання повертається така сама кількість роботи, яка була витрачена на його підняття. Тому такі механізми можуть здійснювати роботу лише за рахунок первинного запасу кінетичної енергії, наданого їм при пуску; коли ж цей запас буде повністю витрачений, «вічний двигун» зупиниться.



Мал. 217. Моделі «вічних двигунів»

Закон збереження і перетворення енергії виявився настільки незаперечним, що в 1775 р. Паризька академія наук — найвищий на той час науковий трибунал Західної Європи — виступила проти безпідставної віри в можливість створення вічного двигуна й прийняла рішення не розглядати більше заявки на патентування даного пристрою.

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ

Задача. Тіло масою 2 кг підняте над землею на висоту 10 м. Визначте повну механічну енергію тіла на цій висоті. Яку потенціальну та кінетичну енергії матиме тіло внаслідок падіння на висоті 5 м?

Дано:

$h_1 = 10 \text{ м}$

$h_2 = 5 \text{ м}$

$m = 2 \text{ кг}$

$E — ?$

$E_{\text{п}} — ?$

$E_{\text{к}} — ?$

Розв'язання

Коли тіло знаходиться на висоті 10 м і нерухоме, то його повна енергія визначається лише його потенціальною енергією: $E = E_{\text{п}} = mgh_1$, кінетична енергія в цьому випадку дорівнює нулю.

$$E = 2 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м} = 196 \text{ Дж}.$$

На висоті 5 м потенціальна енергія тіла $E_{\text{п}} = mgh_2$ і становить $E_{\text{п}} = 2 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 98 \text{ Дж}$.

Оскільки за законом збереження енергії кінетична і потенціальна енергії тіл можуть змінюватися з часом, але в замкненій системі їхня сума залишається сталою, то $E_{\text{к}} = E - E_{\text{п}}$.

$$E_{\text{к}} = 196 \text{ Дж} - 98 \text{ Дж} = 98 \text{ Дж}.$$

Відповідь: $E = 196 \text{ Дж}$, $E_{\text{п}} = 98 \text{ Дж}$, $E_{\text{к}} = 98 \text{ Дж}$.

Вправа 21

1. Угору кинута м'яч зі швидкістю 5 м/с. З більшою чи меншою швидкістю м'яч упаде на землю? Розгляньте випадки, коли опору повітря немає і коли він є.
2. На яку висоту підніметься камінець, випущений з рогатки, маючи на поверхні Землі швидкість 20 м/с і кінетичну енергію 4 Дж? Яка маса камінця?
3. Підкинутий вертикально вгору м'яч піднявся на висоту 2 м. Яка маса м'яча, якщо біля поверхні Землі його кінетична енергія дорівнювала 20 Дж?
4. Тіло вільно падає з висоти 40 м. На якій висоті його потенціальна і кінетична енергії зрівняються? На якій висоті його кінетична енергія стане у 3 рази більшою від потенціальної? Опором повітря знехтувати.
5. Визначте, як зміниться висота підйому кульки пружинного пістолета під час пострілу вертикально вгору, якщо швидкість її вильоту збільшити вдвічі.

§ 30. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. МОМЕНТ СИЛИ

► Ви дізнаєтесь

Що таке прості механізми
Що таке важіль
Що таке момент сили та плече сили

► Пригадайте

Що таке сила
Що таке точка прикладання сили

ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. З давніх-давен людина використовує для виконання механічної роботи різні пристрої. Кожному відомо, що важкий предмет (камінь, колоду), який не можна перемістити безпосередньо руками, легше зсунути з місця за допомогою довгої й міцної жердини — важеля.

За допомогою важелів три тисячі років тому під час спорудження пірамід у Стародавньому Єгипті пересували й піднімали на велику висоту важкі кам'яні брили (мал. 218).



Мал. 218. Застосування важелів під час будівництва пірамід у Єгипті

У багатьох випадках замість того, щоб піднімати важкий вантаж на деяку висоту, його вкочують або пересувають на ту саму висоту по похилій площині, чи піднімають за допомогою блоків.

Якщо взаємодія між тілами відбувається через проміжні пристрої (важелі, блоки, похилі площини тощо), то можлива зміна сили взаємодії між ними. Сила може змінювати як напрям, так і значення.

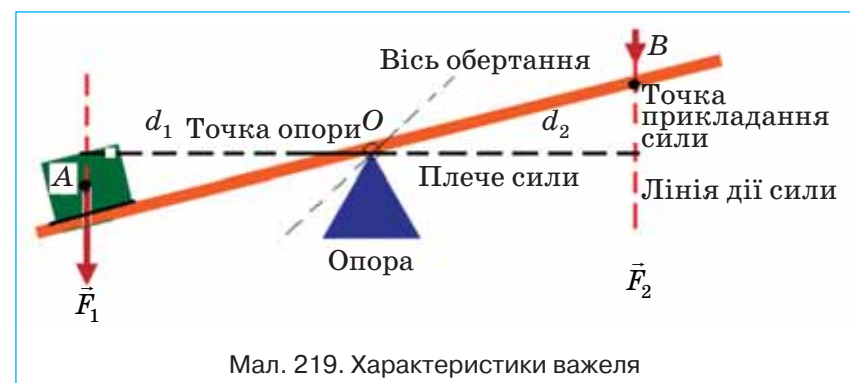
Пристрої, призначені для перетворення сили, називають механізмами.

Прості механізми застосовують здебільшого для того, щоб дістати вигоду у силі, тобто збільшити силу, яка діє на тіло, у декілька разів.

До *простих механізмів* належать: важіль і його різновиди — блок, колоторот; похила площина і її різновиди — клин, гвинт.

ВАЖІЛЬ. *Важелем* називають тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухокої опори.

Говорячи про важіль, застосовують такі поняття, як *точка прикладання сили*, *вісь обертання*, *лінія дії сили* та *плече сили* (мал. 219).



Мал. 219. Характеристики важеля

Точками прикладання сили називають точки, у яких на важіль діють інші тіла, наприклад, людина, вантаж тощо (точки *A* та *B*, зображені на мал. 219).

Лінія дії сили — це лінія, вздовж якої напрямлена сила, прикладена до важеля.

Плече сили (d_1 та d_2 на мал. 219) — найкоротша відстань від осі обертання (*точки опори* *O*) до лінії дії сили. Щоб визначити плече сили, необхідно з точки опори провести перпендикуляр до лінії дії сили.

Вісь обертання важеля може проходити через один з його кінців, або всередині важеля — між точками прикладання сил.



Мал. 220. Піднімання вантажу за допомогою важеля

На малюнку 220, *a* показано, як хлопчик із силою F_2 натискає на кінець важеля, а на малюнку 220, *б* — піднімає кінець важеля. Хлопчик має подолати силу тяжіння вантажу F_1 — силу, напрямлену вертикально вниз. Він повертає для цього важіль навколо осі, що проходить через єдину нерухоку точку — точку його опори *O*. У першому випадку вісь обертання *O* (точка опори) розміщена між точками прикладання сил. Обидві сили, які діють на важіль, напрямлені в один бік. У другому випадку обидві сили лежать по один бік від точки опори й напрямлені в різні сторони. Але в обох випадках сила F_2 , з якою хлопчик діє на важіль, менша за силу F_1 , тобто хлопчик дістає вигоду у силі.

УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ. При дії кількох сил на важіль він може обертатись або бути нерухомим. Величину, яка характеризує обертальну дію сили, називають моментом сили.

Момент сили — це фізична величина, яка характеризує обертальну дію сили відносно нерухомої точки O і визначається добутком сили на плече.

Момент сили позначають великою літерою M .

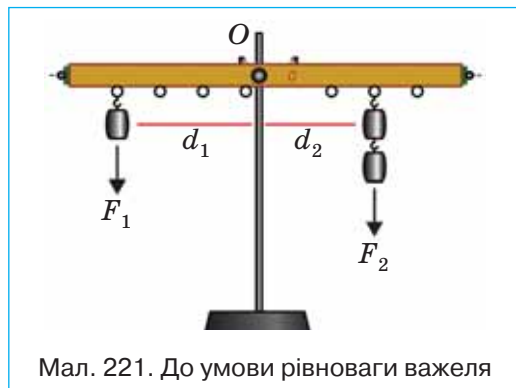
Одиниця моменту сили — **ньютонметр** ($1 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

Момент сили називають також *обертальним моментом* і розраховують за формулою:

$$M = Fd,$$

де F — прикладена сила, d — плече сили.

На малюнку 221 зображено шкільний лабораторний важіль.



Мал. 221. До умови рівноваги важеля

За відсутності тертя для утримання важеля із вантажем у рівновазі необхідно, щоб значення моменту, що обертає важіль за годинниковою стрілкою (тут — момент сили \vec{F}_2) відносно осі обертання важеля O , дорівнювало значенню моменту сили \vec{F}_1 відносно тієї ж осі, що обертає важіль у протилежному напрямі: $F_1 d_1 = F_2 d_2$ або $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$ — умова рівноваги важеля.

Правило рівноваги важеля встановив Архімед. Із цього правила видно, що меншою силою можна зрівноважити за допомогою важеля більшу силу (мал. 222). Але при цьому слід збільшити довжину плеча важеля.

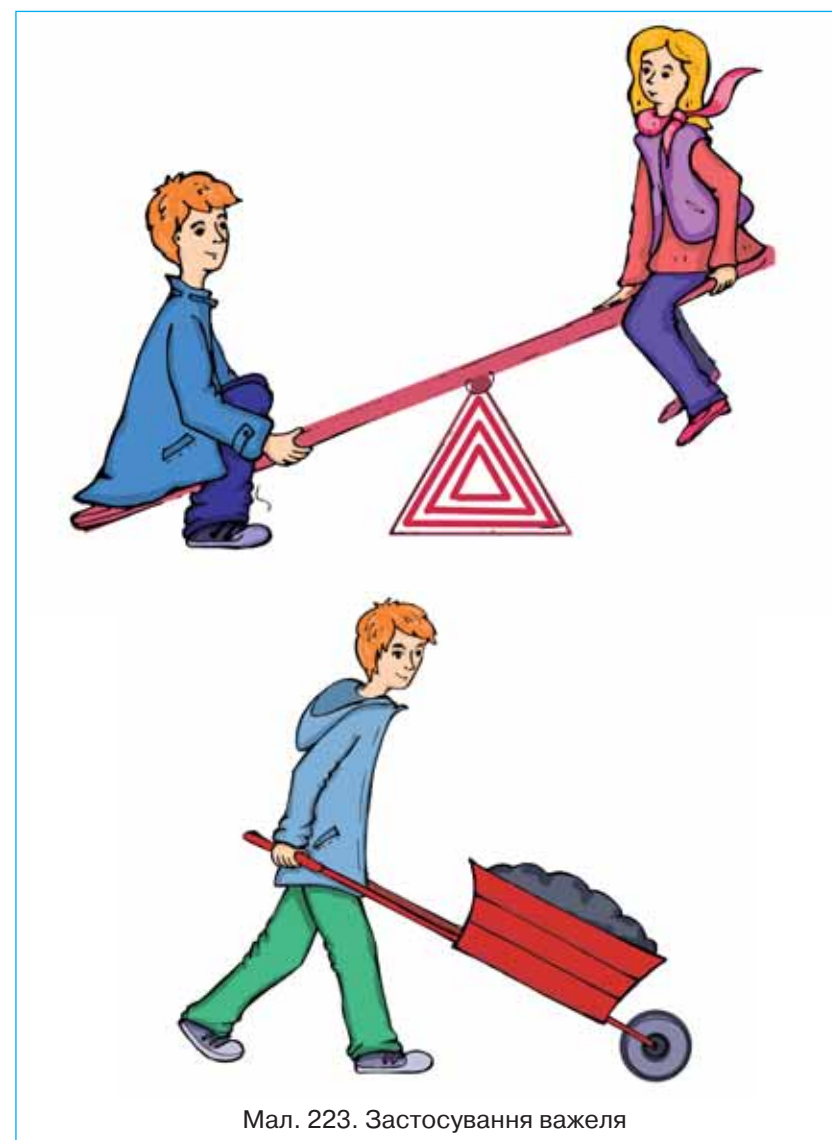
Важіль перебуває в рівновазі, якщо момент сили, що обертає важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює моменту сили, яка обертає важіль проти годинникової стрілки.

Таким чином, момент сили характеризує дію сили — показує, що вона залежить і від модуля сили, і від її плеча. Справді, всім відомо, що двері тим легше відкрити, чим далі від осі обертання прикласти силу; гайку легше викрутити довгим гайковим ключем, ніж коротким; відро тим легше витягти з колодязя, чим довша ручка коловороту, і т. д.

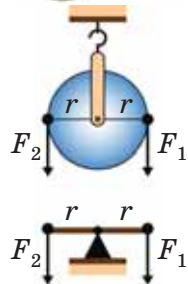
Важелі широко застосовуються в найрізноманітніших пристроях, деякі з них показано на малюнку 223.



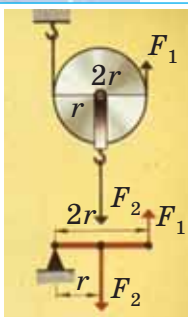
Мал. 222. Умова рівноваги важеля



Мал. 223. Застосування важеля



Мал. 224. Нерухомий блок



Мал. 225. Рухомий блок

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНУ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ ДО БЛОКА. Блок — це колесо з жолобом, закріплене в обоймі. По жолобу блока пропускають вірвовку, трос або ланцюг.

Нерухомим блоком називають такий блок, вісь якого закріплена і під час піднімання вантажів не піднімається й не опускається (мал. 224).

Нерухомий блок можна розглядати як рівноплечий важіль, у якого плечі сил дорівнюють радіусу колеса. Такий блок не дає виграшу в силі, але дає можливість змінювати напрям дії сили.

На малюнку 225 зображено рухомий блок (вісь якого піднімається й опускається разом із вантажем). Такий блок відповідає важелю, що має точку опори на одному кінці, а сили прикладені відповідно до центра важеля і до другого його кінця. У цьому випадку одне плече відрізняється від другого у 2 рази.

Отже, **рухомий блок дає виграш у силі у 2 рази.**

Зазвичай на практиці застосовують комбінацію нерухомого блока з рухомим (мал. 226). Нерухомий блок використовують для зручності. Він не дає виграшу в силі, але змінює напрям дії сили, наприклад, дає змогу піднімати вантаж, стоячи на землі.



Мал. 226. Застосування системи блоків

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Пристрої, призначені для перетворення сили, називають *механізмами*. До *простих механізмів* належать: важіль і

його різновиди — блок, коловорот; похила площина та її різновиди — клин, гвинт.

Момент сили — це фізична величина, яка характеризує обертальну дію сили відносно нерухомої точки O і визначається добутком сили на плече: $M = Fd$.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1} \text{ — умова рівноваги важеля.}$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Дайте відповідь на запитання

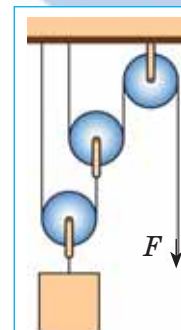
1. Що таке прості механізми?
2. Що називають моментом сили? Що називають плечем сили?
3. Що таке важіль? У чому полягає правило рівноваги важеля?
4. Що таке блок? Поясніть, чому блоки відносять до різновиду важеля.

Поясніть

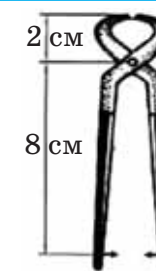
1. Чому дверні ручки ніхто не кріпить посередині дверей або біля їх петель?
2. Чому довгий стержень легше утримувати в горизонтальному положенні за середину, ніж за край?
3. Чому зігнутою в лікті рукою можна підняти більший вантаж, ніж витягнутою?
4. Проведіть простий дослід: спробуйте кілька разів розламати сірник на рівні частини. Чому маленькі шматочки важче розламувати, ніж цілий сірник?

Вправа 22

1. До короткого плеча важеля підвішено вантаж вагою 4 Н. Плечі важеля відповідно становлять 20 см і 60 см. Обчисліть силу, яку необхідно прикласти до довгого плеча, щоб важіль перебував у рівновазі..
2. До кінців урівноваженого важеля довжиною 1 м прикладені сили 2 і 18 Н. Визначте плечі важеля.
3. До кінців стержня масою 10 кг і завдовжки 40 см підвішені вантажі 400 Н і 100 Н. Де треба підперти стержень, щоб він перебував у рівновазі?
- 4*. Яку силу F треба прикласти до кінця мотузки при підйомі вантажу масою 200 кг за допомогою системи легеньких блоків так, як показано на малюнку 227? Тертям знехтувати.
- 5*. Стержень, до одного кінця якого прикладено спрямовану вертикально вниз силу 100 Н, перебуває в горизонтальному положенні, якщо його підперти на відстані 0,3 довжини стержня від точки дії сили. Яка маса стержня?
- 6*. Щоб перекусити дрот товщиною 3 мм, використали обценьки, зображені на малюнку 228. Яку роботу виконано при перекушуванні дроту, якщо до ручок обценьок прикладено зусилля 200 Н?



Мал. 227. Система блоків



Мал. 228. Обценьки

ВИВЧЕННЯ УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

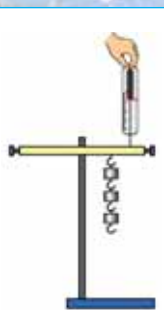
- ▶ **Мета роботи:** дослідити, за якого співвідношення сил і їх плечей важіль перебуває в рівновазі.
- ▶ **Обладнання:** важіль на штативі, набір тягарців, лінійка, динамометр.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Зрівноважте важіль, обертаючи гайки на його кінцях так, щоб він розмістився горизонтально.
2. Підвісьте два тягарці на лівій частині важеля на відстані 12 см від осі обертання.
3. На правій частині важеля підвісьте один тягарець так, щоб важіль перебував у рівновазі. Виміряйте відстань від осі обертання до тягарця.
4. Не змінюючи розташування двох тягарців на лівій частині важеля зрівноважте його трьома тягарцями. Виміряйте відстань від осі обертання до цих тягарців.
5. Вважаючи, що кожен тягарець важить 1 Н, запишіть дані й виміряні величини в таблицю.
6. Обчисліть відношення сил і відношення плечей для кожного з дослідів.
7. Перевірте, чи підтверджують результати дослідів умову рівноваги важеля під дією прикладених до нього сил і правило моментів сил.

Номер дослідів	Сила на лівій частині важеля F_1 , Н	Плече d_1 , см	Сила на правій частині важеля F_2 , Н	Плече d_2 , см	Відношення сил і плечей	
					$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{d_2}{d_1}$
1						

8. Підвісьте три тягарці справа від осі обертання важеля на відстані 6 см.
9. За допомогою динамометра визначте силу, яку треба прикласти на відстані 15 см від осі обертання прворуч від тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі (мал. 229).
10. Обчисліть відношення сил і плечей для цього випадку й зробіть відповідний висновок.



Мал. 229. Визначення рівноважувальної сили

§ 31. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ. «ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО» МЕХАНІКИ

▶ **Ви дізнаєтесь**

Що таке коефіцієнт корисної дії
Що таке «золоте правило» механіки

▶ **Пригадайте**

Що таке прості механізми
Що таке виграш у силі

ВАЖІЛЬ І РОБОТА. Прості механізми допомагають людині виконувати роботу, тому цілком логічно постає питання про те, що оскільки прості механізми застосовують для одержання виграшу в силі або у відстані, то, можливо, вони дають виграш у роботі? Досліди показують, що при підніманні важкого вантажу за допомогою важеля за один і той самий час точка прикладання меншої сили F_2 долає більший шлях s_2 , ніж точка прикладання більшої сили F_1 (шлях s_1) (мал. 230).



Мал. 230. До роботи важеля

Багаторазові досліди та вимірювання показують, що завжди шляхи, пройдені точками прикладання сил, обернено пропорційні силам: $\frac{s_1}{s_2} = \frac{F_2}{F_1}$.

Нехай сили, прикладені до плечей важеля, становлять $F_1 = 200$ Н, $F_2 = 40$ Н, тоді відстані, які проходять точки прикладання сил, становитимуть відповідно $s_1 = 40$ см, $s_2 = 2$ м. Робота, виконана при цьому кожною силою, становитиме:

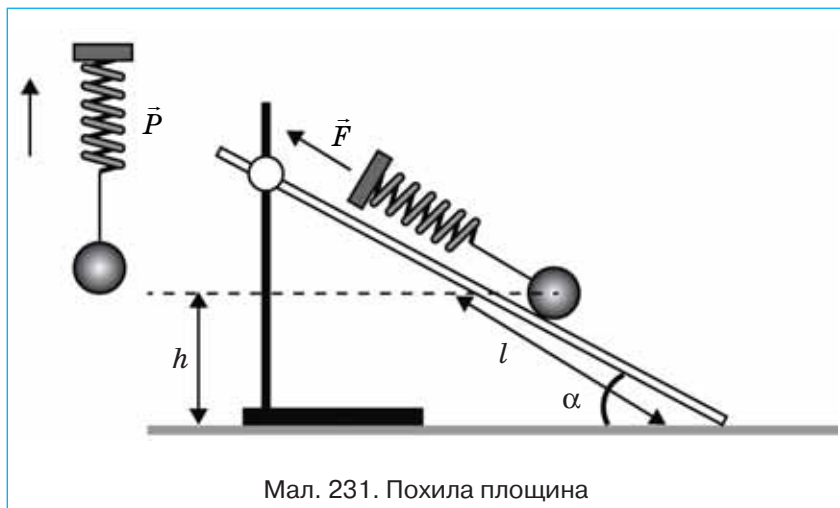
$$A_1 = F_1 \cdot s_1 = 200 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = 80 \text{ Дж}$$

$$A_2 = F_2 \cdot s_2 = 40 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = 80 \text{ Дж.}$$

Із цього можна зробити висновок про те, що *важіль не дає виграшу в роботі*: $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$.

Користуючись важелем, можна виграти або в силі, або у відстані. Якщо ми силу прикладаємо до довгого плеча, то виграємо в силі, але в стільки ж разів програємо у відстані. Діючи силою на коротке плече важеля, виграємо у відстані, але в стільки ж разів програємо в силі.

ПОХИЛА ПЛОЩИНА І РОБОТА. Похила площина також не дає виграшу в роботі. Похила площина — це будь-яка плоска поверхня, нахилена під деяким кутом до горизонту. Використання похилої площини дає змогу отримати виграш у силі. Наприклад, якщо піднімати брусок масою 200 г на деяку висоту h за допомогою динамометра, то динамометр покаже силу приблизно $P = 2$ Н. Якщо ж сконструювати похилу площину, висота якої h , і витягувати по ній цей самий брусок, то значення динамометра будуть меншими, ніж у першому випадку, $F < P$ (мал. 231).

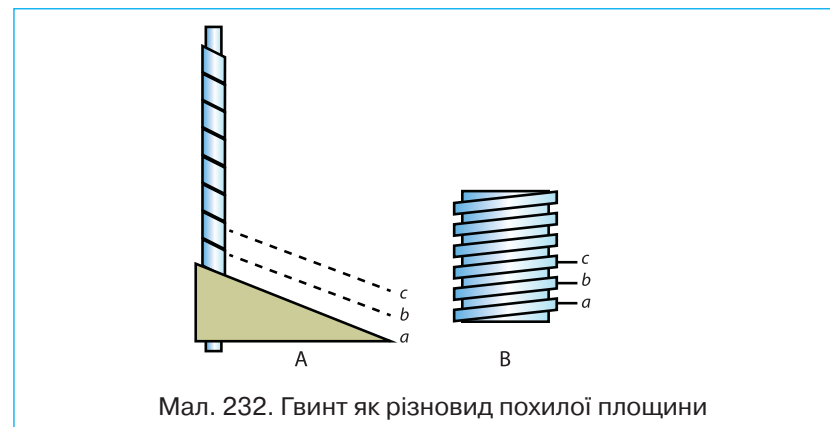


Мал. 231. Похила площина

Похила площина може мати різні значення висоти h , довжини l . Чим меншою є висота похилої площини h порівняно з її довжиною l , тим більший буде виграш у силі: $F = P \frac{h}{l}$, або $\frac{h}{l} = \frac{F}{P}$, де F — прикладена сила, P — вага вантажу. Значення ж роботи, яку нам доведеться виконати, переміщуючи тіло вздовж похилої площини, та роботи, яку треба виконати, щоб підняти вантаж на ту саму висоту вертикально, однакові.

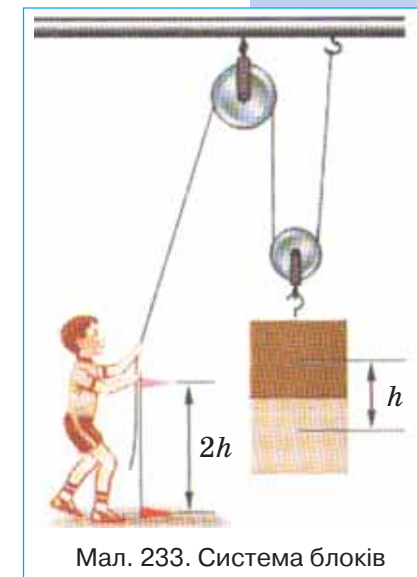
Властивості похилої площини використовують у багатьох сферах виробничої діяльності людини.

Окремим різновидом похилої площини є **гвинт** (мал. 232). Гвинти, як правило, дають значний виграш у силі, тому їх застосовують у різних технічних пристроях для надійного з'єднання деталей.



Мал. 232. Гвинт як різновид похилої площини

РУХОМИЙ БЛОК І РОБОТА. Подібні результати про виграш у силі та однаковість робіт одержимо внаслідок порівняння роботи, яку виконують сили, прикладені до обоїх рухомого блоку та вільного кінця мотузки. Для того щоб підняти вантаж на висоту h , доведеться вільний кінець мотузки, до якого докладають силу, перемістити на відстань $2h$, хоча підніматимемо вантаж, докладаючи силу у два рази меншу. Це саме стосується і системи блоків (поліспасти) (мал. 233). Якщо система дає виграш у силі в десять разів, то відстань, на яку доведеться перемістити вільний кінець мотузки, буде в десять разів більшою.



Мал. 233. Система блоків

«ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО МЕХАНІКИ». Багатовікова практика показала, що жодний з механізмів не дає виграшу в роботі.

«Золоте правило механіки»: скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані.

КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ. До цього часу були розглянуті ідеальні умови використання простих механізмів. За цих умов вважали, що важіль і блок є невагомими, а сила

тертя між частинами механізмів чи тілом та похилою площиною дорівнює нулю. Давайте поміркуємо над тим, що відбувається в реальних умовах використання простих механізмів. Виявляється, що під час використання простих механізмів частина виконаної роботи витрачається на подолання сил тертя, піднімання важеля чи блока, або хоча б того самого тросу. Отже, частина виконаної роботи не є корисною.

Корисною (A_k) називають роботу, для виконання якої застосовують пристрій, наприклад, робота для підйому вантажів. **Витрачена**, або **повна** робота (A_b) — це та робота, яку потрібно виконати під час користування простим механізмом. Витрачена робота завжди більша за корисну, тому що частина роботи (енергії) витрачається на подолання сил тертя і на переміщення окремих частин механізму (важеля, блока тощо). Тому доцільно вміти оцінювати ефективність роботи того чи іншого механізму, приладу тощо. З цією метою використовують фізичну величину, яку називають коефіцієнт корисної дії та позначають малою грецькою літерою η («ета»).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму і чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи: $\eta = \frac{A_k}{A_b} 100 \%$.

Зазвичай ККД вимірюють у відсотках, проте під час розв'язування задач доволі часто зручніше користуватися відносними одиницями. Наприклад, ККД у 80 % означає, що корисна робота становить 0,8 від витраченої.

Який би не взяли механізм чи машину, корисна робота буде завжди меншою від виконаної, оскільки завжди існують втрати енергії, пов'язані з наявністю сил тертя та необхідністю прикладати зусилля на переміщення частин механізмів. Отже, ККД будь-якого механізму завжди менший ніж 100 %.

Конструктори механізмів постійно намагаються збільшити ККД. Для цього зменшують вагу складових елементів і силу тертя, між частинами механічних пристроїв. Наразі існують машини та механізми, ККД яких досягає значення 98–99 %. Проте побудувати машину з ККД 100 % неможливо.

Ви можете поставити запитання: «А як бути з тими законами, що вивчалися для ідеальних простих механізмів, якщо таких не існує? Навіщо тоді їх вивчати?» Насправді,

якщо маса простого механізму чи його частини значно менша за масу тіла, яке необхідно підняти, або ж сили, що докладають під час виконання роботи, значно більші за сили тертя, то похибка під час користування законами для ідеальних простих механізмів є незначною.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Жоден із простих механізмів не дає виграшу в роботі. У скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані — золоте правило механіки.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму й дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи:

$$\eta = \frac{A_k}{A_b} 100 \%$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ



Дайте відповідь на запитання

1. У чому полягає золоте правило механіки?
2. Що називають корисною роботою?
3. Що називають повною роботою?
4. Чи може корисна робота бути більшою за повну? Чому?
5. Що називають ККД механізму?



Поясніть

1. Чи може людина підняти саму себе за допомогою нерухомого блока?
2. Чому важко підніматися крутими сходами?

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Задача 1. За допомогою рухомого блока масою 2 кг на висоту 5 м підняли вантаж масою 20 кг. Який ККД пристрою?

Дано:

$$m_1 = 20 \text{ кг}$$

$$m_2 = 2 \text{ кг}$$

$$h = 5 \text{ м}$$

$\eta = ?$

Розв'язання

За означенням: $\eta = \frac{A_k}{A_b} 100\%$.

Корисна робота в даному випадку — це робота, яка затрачається на подолання сили тяжіння, що діє на вантаж масою m_1 , і піднімання вантажу на висоту h : $A_k = Fh = m_1gh$.

$$A_k = 20 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 980 \text{ Дж.}$$

При застосованні рухомого блока виконується додаткова робота і на піднімання самого блока. Тоді повна робота: $A_b = (m_1 + m_2)gh$.

$$A_B = (20 \text{ кг} + 2 \text{ кг}) \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 1078 \text{ Дж};$$

$$\eta = \frac{980 \text{ Дж}}{1078 \text{ Дж}} \cdot 100 \% = 91 \%$$

Відповідь: $\eta = 91 \%$.

Задача 2. При рівномірному переміщенні вантажу масою 15 кг по похилій площині динамометр, прикріплений до вантажу, показує силу 40 Н. Обчисліть ККД похилої площини, якщо її довжина 1,8 м, висота 30 см.

Дано:

$$m = 15 \text{ кг}$$

$$F = 40 \text{ Н}$$

$$h = 0,3 \text{ м}$$

$$l = 1,8 \text{ м}$$

$\eta = ?$

Розв'язання

$$\text{За означенням: } \eta = \frac{A_K}{A_B} 100 \%$$

Корисна робота в даному випадку — це робота, яка затрачається на подолання сили тяжіння, що діє на вантаж масою m , і підняття його на висоту h : $A_K = mgh$.

Затрачена робота — це робота, яка виконується під час руху вантажу по похилій площині на відстань, що дорівнює довжині похилої площини: $A_B = Fl$, де F — сила, яку показує динамометр.

$$\eta = \frac{mgh}{Fl} 100 \%; \quad \eta = \frac{15 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,3 \text{ м}}{40 \text{ Н} \cdot 1,8 \text{ м}} \cdot 100 \% = 61 \%$$

Відповідь: $\eta = 61 \%$.

Вправа 23

- Відро з піском масою 24,5 кг піднімають за допомогою нерухомого блока на висоту 10 м, діючи на мотузку силою 250 Н. Обчисліть ККД установки.
- Вантаж масою 1,2 кг учень рівномірно перемістив до вершини похилої площини, довжина якої 0,8 м і висота 0,2 м. При цьому переміщенні сила, яка була прикладена до вантажу, дорівнювала 5,4 Н. Який ККД похилої площини?
- На яку висоту потрібно підняти край дошки довжиною 1,8 м, щоб витягти по ній вантаж масою 120 кг, прикладаючи силу 400 Н?
- Підйомальний кран рівномірно піднімає вантаж масою 60 кг на висоту 50 м за 2 хв. Визначте потужність підйомального крана, якщо його ККД становить 80 %.
- Двигун насоса має потужність 25 кВт і піднімає 100 м³ нафти на висоту 6 м за 8 хв. Визначте ККД нафтового насоса.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

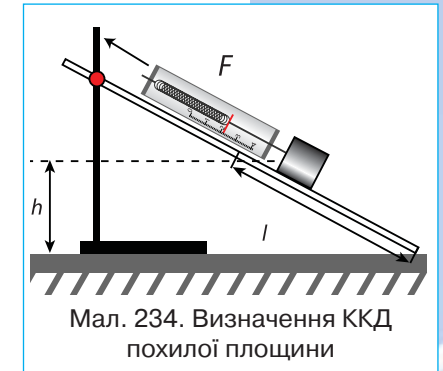
№ 12

ВИЗНАЧЕННЯ ККД ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ

- **Мета роботи:** переконатися, що корисна робота менша від витраченої; навчитися визначати коефіцієнт корисної дії простого механізму.
- **Обладнання:** дошка, динамометр, лінійка, брусок, штатив із лапкою.

Вказівки щодо виконання роботи

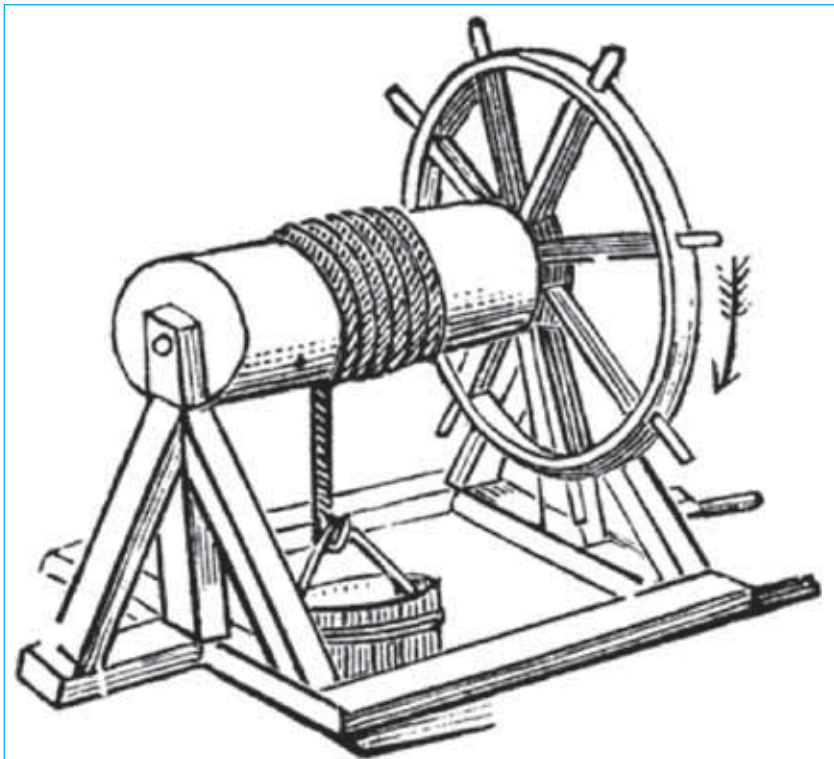
- Установіть дошку похило у штативі (мал. 234).
- Виміряйте висоту і довжину похилої площини.
- Підвісьте до динамометра брусок і тягарці. Визначте сумарну вагу бруска і тягарців, тобто вагу вантажу, який переміщується вздовж похилої площини: $P = mg$.
- Визначте силу, з якою тіло переміщують по похилій площині F .
- Обчисліть витрачену роботу за формулою $A_B = Fl$.
- Обчисліть коефіцієнт корисної дії за формулою $\eta = \frac{A_K}{A_B} 100 \%$.
- Повторіть досліди, змінюючи висоту похилої площини.
- Знайдіть для кожного випадку коефіцієнт корисної дії.
- Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю:



№ досліду	Висота похилої площини h , м	Вага вантажу P , Н	Корисна робота A_K , Дж	Довжина похилої площини l , м	Сила тяги F , Н	Витрачена робота A_B , Дж	Коефіцієнт корисної дії η
1							
2							

Навчальний проект СТАНОВЛЕННЯ ЗНАТЬ ПРО ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

Виконувати цей проект краще групами по декілька учнів. Кожна з груп досліджує своє коло питань (наприклад, «Механіки Стародавнього світу», «Перші механічні пристрої», «Структура механізмів і машин», «Геометрія механізмів і їх елементів», «Гвинт і важіль у сучасній техніці», «Механізми майбутнього» тощо). Одній із груп можна доручити виготовити саморобний простий механізм, наприклад, коловорот-підйомник (мал. 235).

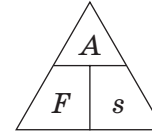


Мал. 235. Будова коловорота-підйомника

ПІДСУМКИ до розділу «МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ»

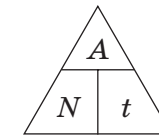
- *Механічна робота* виконується тільки тоді, коли на тіло діє сила, і тіло переміщується під дією цієї сили.
- *Потужність* показує, яка робота виконується за одиницю часу.
- *Енергія* — це фізична величина, що характеризує здатність тіла виконувати роботу. Розрізняють потенціальну і кінетичну енергію.
- *Закон збереження енергії* стверджує, що енергія не виникає із нічого і не зникає нікуди, вона лише переходить з одного виду в інший, або від одного тіла до іншого.
- *Прості механізми* перетворюють силу під час виконання роботи.

Зміна
механічної
енергії
 $\Delta E = A$
Механічна
робота
 $A = F \cdot s$



Потужність

$$N = \frac{A}{t}$$



Потенціальна
енергія

$$E_{\text{п}} = mgh$$

Кінетична
енергія

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$$

Повна
енергія
 $E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}$

Прості механізми

Важіль

Блок

Похила площина

Правило
рівноваги
важеля
 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

Момент
сили
 $M = Fd$

ККД
 $\eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100 \%$

ПЕРЕВІР СВОЇ ЗНАННЯ

1. Під дією сили 5 Н тіло перемістилось на 3 м у напрямі дії сили. Яку механічну роботу виконала ця сила?

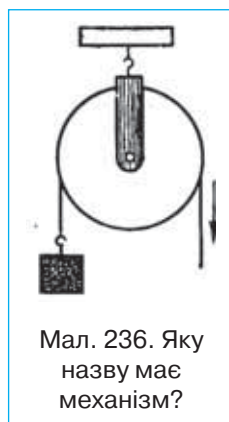
- А. 2 Дж
- Б. 3 Дж
- В. 15 Дж
- Г. 2,5 Дж

2. Яка із зазначених фізичних величини вимірюється у джоулях?

- А. сила
- Б. тиск
- В. потужність
- Г. енергія

3. Який простий механізм зображено на малюнку 236?

- А. важіль
- Б. рухомий блок
- В. нерухомий блок
- Г. гвинт



Мал. 236. Яку назву має механізм?

4. Яку роботу виконує двигун потужністю 240 Вт за 20 с?

- А. 12 Дж
- Б. 120 Дж
- В. 240 Дж
- Г. 4800 Дж

5. М'яч підкинули вертикально вгору. Яку потенціальну енергію він матиме в верхній точці траєкторії, якщо біля поверхні Землі його кінетична енергія дорівнювала 20 Дж?

- А. 0 Дж
- Б. 10 Дж
- В. 20 Дж
- Г. 40 Дж

6. Вкажіть на одиницю потужності.

- А. 1 Н · м
- Б. 1 Вт
- В. 1 Дж · с
- Г. 1 Па

7. За допомогою рухомого блока рівномірно піднімають тіло масою 2 т на висоту 2 м. Який ККД механізму, якщо затрачена робота дорівнює 35000 Дж?

- А. 77,5 %
- Б. 87,5 %
- В. 97,5 %
- Г. 67,5 %

8. Тіло падає з деякої висоти на Землю. Як змінюється його кінетична і потенціальна енергії?

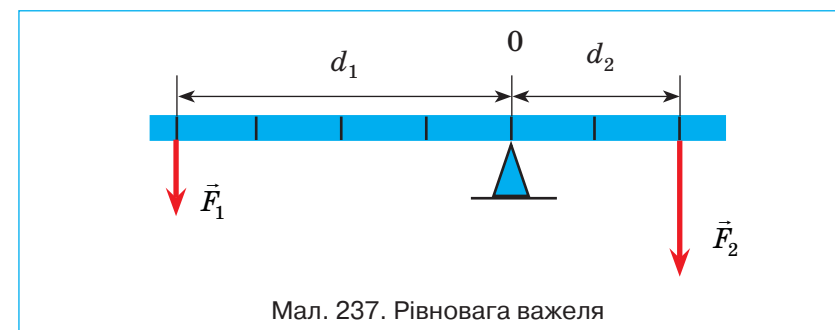
- А. кінетична енергія зменшується, потенціальна — зростає
- Б. кінетична енергія не змінюється, потенціальна — зменшується
- В. кінетична енергія збільшується, потенціальна — зменшується
- Г. кінетична і потенціальна енергії не змінюються.

9. На деякій висоті над Землею тіло має потенціальну енергію 80 Дж. Яку кінетичну енергію матиме це тіло під час вільного падіння в точці, в якій його потенціальна енергія вже становитиме 30 Дж?

- А. 80 Дж
- Б. 110 Дж
- В. 50 Дж
- Г. 0 Дж

10. Важіль, зображений на малюнку 237, перебуває в рівновазі. Визначте F_1 і d_2 , якщо $F_2 = 40$ Н, $d_1 = 40$ см.

- А. 40 Н, 20 см
- Б. 20 Н, 40 см
- В. 40 Н, 40 см
- Г. 20 Н, 20 см



Мал. 237. Рівновага важеля

11. Поїзд проходить, рухаючись рівномірно, шлях 12 км за 10 хв. Потужність, що розвивається локомотивом, становить 2944 кВт. Визначте, з якою силою локомотив тягне поїзд.

12. По похилій площині переміщують вантаж вагою 3,5 кН на висоту 1,4 м. Обчисліть роботу, яку при цьому виконують, якщо ККД похилої площини дорівнює 60 %.

13. Мотор підйимального крана потужністю 6 кВт підіймає вантаж масою 6 т на висоту 8 м. Визначте час підйому вантажу, якщо ККД установки становить 80 %.

14. Перше тіло, масою $m_1 = 3$ кг, падає з висоти $h_1 = 2$ м. З якої висоти h_2 повинно впасти друге тіло, масою $m_2 = 6$ кг, щоб робота сили тяжіння в обох випадках була однаковою?

15. Визначте час, за який насос, потужністю 50 кВт, може відкачати із шахти глибиною 200 м воду об'ємом 150 м^3 ?

16. Із дна озера підіймають кам'яну брилу, яка має розміри $40 \times 50 \times 75$ см. Яку мінімальну роботу потрібно при цьому виконати, якщо глибина озера дорівнює 12 м? Вважайте, що брилу піднімають повільно й опором води можна знехтувати. Густина каменя прийняти такою, що дорівнює 2500 кг/м^3 .

17. Камінь кинули вертикально вгору. У точці кидання камінь мав кінетичну енергію 30 Дж. Визначте повну механічну енергію каменя в верхній точці траєкторії польоту. Обчисліть максимальну висоту, на яку підніметься тіло, якщо його маса — 1 кг. Визначте кінетичну і потенціальну енергію цього тіла на висоті 2 м над поверхнею нульового рівня.

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ

- Впр. 2** 1. 1 мм; 1 мл; $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. 3. $32 \pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$. 4. 25,12 мм.
- Впр. 3** 1. $20 \text{ см}^2 = 0,002 \text{ м}^2 = 2000 \text{ мм}^2$; $20 \text{ см}^3 = 0,00002 \text{ м}^3 = 20000 \text{ мм}^3$; $20 \text{ л} = 0,02 \text{ м}^3 = 20000 \text{ см}^3$. 2. 150 см^3 . 3. 20 коробок. 4. 6 м. 5. $40 \text{ мл} = 40 \text{ см}^3$.
- Впр. 4** 1. а) $l = 20 \text{ см}$, $s = 20 \text{ см}$; б) $l = 40 \text{ см}$, $s = 28,3 \text{ см}$; в) $l = 60 \text{ см}$, $s = 20 \text{ см}$; г) $l = 80 \text{ см}$, $s = 0 \text{ см}$. 2. а) $x_0 = 2 \text{ км}$; б) $x = 10 \text{ км}$; в) $\Delta x = x - x_0 = 8 \text{ км}$; г) $l = 12,56 \text{ км}$; $s = 8 \text{ км}$ праворуч. 3. $l = 3,6 \text{ м}$, $s = 1,4 \text{ м}$. 4. $s = 5 \text{ м}$.
- Впр. 5** 1. У першого. У 15 разів. 2. 90 000 м. 3. 45 м. 4. 2 кроки за секунду. 5. 110 км/год. 6. а) 20 км/год; б) 100 км/год. 7. 140 м. 8. 30 км.
- Впр. 6** 2. 80 км/год. 3. 15 км. 5. У першого; у 2 рази. 6. Для автомобіля $x_1 = 0 + 80t$ км; для автобуса $x_2 = 360 - 40t$, км (час у годинах). Час зустрічі 3 год від початку руху, місце зустрічі — 240 км. До моменту зустрічі автомобіль пройшов 240 км, автобус — 120 км. 7. а) 80 м; б) 8 с, 80 м; в) 10 м/с, 20 м/с; г) 80 м, 160 м; д) 20 м. 8. 20 хв; за 2 год після початку руху маршрутного таксі, або за 2 год 40 хв після початку спостереження
- Впр. 7** 1. 2,08 м/с. 2. 19,05 м/с, або 68,57 км/год. 3. Різний: перше — 9 год, друге — 8 год. 4. 17,5 м/с; 1500 м.
- Впр. 8** 1. 86400 с; 3600 с; 60 с. 2. 1 рік; 31536000 с. 3. Зменшилася в 3 рази. 4. У 24 рази. 5. 100 л/с. 6. $1/4$. 7. У 90 разів. 8. У 3 рази. 9. 1022,4 м/с або 3680,6 км/год.
- Впр. 9** 1. 8 с. 2. 3 коливання. 3. 2 с; 0,5 Гц. 4. 2 см. 5. 16 см.
- Впр. 10** 1. 0,0001 кг; 0,0002 кг; 3000 кг; 4000 кг. 2. 5200,15 г; 5350,5 г; 1,9001 кг. 3. $14,95 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 14,95 \text{ мкг}$. 4. 420 г. 5. 420 г. 6. У куль однакові маси.
- Впр. 11** 1. Перше тіло має в 7 разів більшу густину. 2. $7 \text{ } 100 \text{ кг/м}^3$; цинк. 3. 800 кг/м^3 . 4. 2,825 кг. 5. 5850 кг. 6. 2 дм^3 , або 2 л. 7. Не суцільна. 8. $3,3 \cdot 10^{28}$. 9. 0,4 кг. 10. 10,064 кг. 11. 787 м; 500 витків. 12. 29 см^3 . 13. $4,25 \text{ см}^3$.
- Впр. 12** 1. 58,8 Н. 2. 490 Н. 3. 26,46 Н. 4. Більша у 2,7 рази сила тяжіння діє на олов'яний кубик.
- Впр. 13** 1. 30 Н. 2. 30 Н. 3. 0 Н; 40 Н; 60 Н; 100 Н. 4. Перший випадок — 60 Н праворуч; другий випадок — 200 Н вниз.
- Впр. 14** 1. 0,75 Н. 2. 90 Н. 3. 0,8 кг. 4. 24 Н; 34 Н. 5. 10 см.
- Впр. 15** 1. 4,9 Н. 2. 76,5 Н. 3. $0,02 \text{ м}^3$. 4. 147 Н. 5. 492 Н. 6. 5 кг.

- Впр. 16** 1. У першому випадку — більший. 2. $2 \cdot 10^5$ Па. 3. $5 \cdot 10^3$ Па. 4. 514 Па. 5. Тиск трактора на лід 40 кПа, що менше від допустимого значення, отже, він не провалиться під лід. 6. 2,7 т. 7. 10 Н.
- Впр. 17** 1. У 2 рази більшим. 2. 1,47 кПа; 1,96 кПа; 2,45 кПа. 3. 3,92 кПа. 4. 2,94 кПа; 294 Н. 5. Більше 605640 Н. 6. 12 см. 7. 27,2 см. 8. 25,6 кПа. 9. 1,764 кПа; 17,64 Н.
- Впр. 18** 1. Більше 4 Н. 2. Капрон. 3. $2,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; \approx 1000 \text{ кг/м}^3$. 4. ≈ 68 Н. 5. 0,04 м³. 6. Не зануриться. 7. Більше 176,4 Н. 8. 4 см. 9. 3 962 м³.
- Впр. 19** 1. $2,94 \cdot 10^6$ Дж; 24,5 кВт. 2. $1,1 \cdot 10^{-4}$ Вт; 9,408 Дж. 3. 13 475 Вт. 4. 30 с. 5. 150 кН. 6. 882 Дж. 7. 98 Вт.
- Впр. 20** 1. $3,43 \cdot 10^9$ Дж. 2. У 16 разів. 3. Потенціальна енергія мідної кулі більша на 1,568 Дж. 4. 1. а) 2 Дж; б) 2 Дж; в) 0,2 Н. 2. а) -2,4 Дж; б) 2,4 Дж; в) 1,2 Н. 5. 6 м.
- Впр. 21** 1. Однаковою або меншою. 2. 20 м; 0,02 кг. 3. 1 кг. 4. 20 м; 10 м. 5. Збільшиться в 4 рази.
- Впр. 22** 1. 1,33 Н. 2. 0,9 м; 0,1 м. 3. На відстані 10 см від точки прикладення сили 400 Н. 4. Більше 490 Н. 5. 15,3 кг. 6. 2,4 Дж.
- Впр. 23** 1. 96 %. 2. 54 %. 3. 0,61 м. 4. 306,25 Вт. 5. 39,2 %.

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ «ПЕРЕВІР СВОЇ ЗНАННЯ»

До розділу «Механічний рух»

- (с. 91–93) 1. В. 2. А. 3. Г. 4. Б. 5. Б. 6. В. 7. В. 8. Б. 9. А. 10. А. 11. 38 м. 12. 5 м. 13. 1,884 м. 14. 30 м. 15. 7 м/с. 16. 30 км; 20 км/год; 10 км/год. 17. 2 хв; 2 хв 40 с.

До розділу «Взаємодія тіл. Сила»

- (с. 141–143) 1. А. 2. Б. 3. Правий. 4. А. 5. В. 6. 50 кг. 7. Б. 8. Б. 9. 800 кг/м³. 10. Не суцільна. 11. 6,7 · 10²⁴. 12. 4,25 см³. 13. 2,5 Н. 14. 196 Н. 15. 2,94 Н. 16. 136 Н. 17. 10,6 Н.

До розділу «Тиск твердих тіл, рідин та газів»

- (с. 180–181) 1. А. 2. Б. 3. Г. 4. Г. 5. Г. 6. 2,7 кг. 7. 0,0255 м³. 8. 0,388 Н. 9. 27 см. 10. 19 Н. 11. 0,153 м³. 12. 1,6 кПа. 13. Більше 1 881,6 Н. 14. 514 Па.

До розділу «Механічна робота та енергія»

- (с. 214–216) 1. В. 2. Д. 3. В. 4. А. 5. В. 6. Б. 7. Виконана робота не може бути меншою, ніж корисна 39200 Дж. 8. В. 9. В. 10. Г. 11. 147,2 кН. 12. $\approx 8,2$ кДж. 13. 98 с. 14. 1 м. 15. 5,88 с. 16. 26,46 кДж. 17. 30 Дж; 3,06 м; потенціальна: 19,6 Дж, кінетична: 10,4 Дж.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абсолютна деформація 124
 Амплітуда коливань 84
 Атом 32,33
 Барометр 168
 Барометр-анероїд 168
 Блок 202
 Вага 127
 Важіль 198
 Ват 185
 Вектор 58
 Векторна величина 58
 Взаємодія 111
 Вимірювальний прилад 18
 Вільне падіння 115
 Всесвітнє тяжіння 115
 Гвинт 207
 Герц 85
 Гідравлічний прес 156
 Гідростатичний парадокс 159
 Густина 104
 Деформація 112
 Джоуль 184
 Динамометр 124
 Експеримент (дослід) 15
 Енергія 188
 Енергія кінетична 190
 Енергія механічна 190
 Енергія повна 190
 Енергія потенціальна 189
 Жорсткість 123
 Закон Архімеда 174
 Закон Гука 123
 Закон збереження енергії 193
 Закон інерції 97
 Закон Паскаля 154
 Золоте правило механіки 207
 Інертність 99
 Інерція 97
 Квантова фізика 25
 Класична фізика 25
 Коефіцієнт корисної дії 208
 Коефіцієнт прискорення вільного падіння 114
 Коефіцієнт пружності 123
 Коефіцієнт тертя ковзання 134
 Коливання 84
 Криволінійний рух 53
 Курвіметр 61
 Лінійна швидкість 81
 Макросвіт 25
 Манометр 171
 Маса 99
 Матеріальна точка 52
 Матерія 13
 Маятник 83
 Мегасвіт 25
 Межі вимірювання 19
 Механізм 198
 Механічна робота 184
 Механічний рух 46
 Миттєва швидкість руху тіла 76
 Міжнародна система одиниць фізичних величин 21
 Мікросвіт 25
 Міра 18
 Моделювання 15
 Модуль вектора 59
 Молекула 33
 Молекулярно-кінетична теорія 33
 Момент сили 200
 Насос 171
 Невагомість 129
 Нерівномірний рух 75
 Обертальний рух 51
 Обертота частота 80
 Паскаль 147
 Перевантаження 129
 Переміщення 57,58

Період коливання 85
 Період обертання 80
 Пластична деформація 122
 Плече сили 199
 Поділлка шкали приладу 19
 Поле 13
 Поступальний рух 51
 Потужність 185
 Похибка вимірювань 20
 Пружинні ваги 127
 Пружна деформація 122
 Прямолінійний рівномірний рух 62
 Речовина 13
 Рівнодійна сил 118
 Рівномірний рух по колу 79
 Рівняння рівномірного прямолінійного руху 69
 Робота витрачена (повна) 208
 Робота корисна 208
 Робота механічна 184
 Середня швидкість руху тіла 75
 Сила 112
 Сила Архімеда 173
 Сила виштовхувальна 173
 Сила пружності 122
 Сила тертя 132
 Сила тертя ковзання 133
 Сила тертя кочення 133
 Сила тертя спокою 133
 Сила тиску 147
 Сила тяжіння 114
 Система відліку 47
 Скаляр 58
 Скалярна величина 58
 Сполучені посудини 160
 Спостереження 14
 Терези 100
 Тиск 147
 Тиск атмосферний 165,167
 Тиск газу 152
 Тиск гідростатичний 153,158,159
 Тиск рідини 153
 Тіло відліку 47
 Траєкторія 53
 Умова рівноваги важеля 200
 Фізика 13
 Фізична величина 17
 Фізичне тіло 14
 Фізичне явище 13
 Частота коливань 85
 Швидкість руху тіла 63
 Шлях 57