

Головко М.В., Засекін Д.О., Засекіна Т.М.,  
Коваль В.С., Крячко І.П., Непорожня Л.В., Сіпій В.В.

# Фізика

Підручник для 7 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів



Київ  
Педагогічна думка

**Фізика.** Підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів / Головка М.В., Засекін Д.О., Засекіна Т.М., Коваль В.С., Крячко І.П., Непорожня Л.В., Сіпій В. К.: Педагогічна думка, 2015. С. 248: іл.

*Підручник відповідає навчальній програмі з фізики для основної школи, затвердженій Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України (наказ МОН молоді та спорту України від 06 червня 2012 р. №664). Головною метою даного підручника є сприяння розвитку учнів засобами фізики, формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, розвитку експериментальних умінь, дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності до креативного мислення, усвідомлення необхідності вивчати фізику для розуміння навколишнього світу.*



## ЗМІСТ

Слово до учнів.....	5
Слово до вчителя.....	7
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
Вправа 1.....	12
<b>Розділ 1. ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. МЕТОДИ НАУКОВО-ГО ПІЗНАННЯ</b>	
§ 1. Фізика як фундаментальна наука про природу.....	13
§ 2. Фізичні тіла. Початкові відомості про будову речовини.....	20
§ 3. Фізичні величини та їх вимірювання.....	29
Вправа 2.....	35
§ 4. Точність вимірювань. Запис великих і малих чисел.....	36
Вправа 3.....	41
§ 5. Фізика – теоретична основа техніки.....	42
Найголовніше у розділі 1.....	50
Завдання для самоперевірки з розділу «Фізика як природнича наука. Ме- тоди наукового пізнання».....	52
<b>Розділ 2. МЕХАНІЧНИЙ РУХ</b>	
§ 6. Механічний рух.....	53
§ 7. Поступальний рух.....	58
§ 8. Матеріальна точка.....	60
§ 9. Шлях і переміщення.....	62
Вправа 4.....	64
§ 10. Рівномірний прямолінійний рух.....	64
Вправа 5.....	69
§ 11. Рівняння руху.....	70
§ 12. Графіки рівномірного прямолінійного руху.....	72
Вправа 6.....	77
§ 13. Нерівномірний прямолінійний рух.....	79
Вправа 7.....	82
§ 14. Рівномірний рух матеріальної точки по колу.....	83
Вправа 8.....	87
§ 15. Коливальний рух.....	87
§ 16. Маятники.....	91
Вправа 9.....	94
Найголовніше у розділі 2.....	94
Завдання для самоперевірки з розділу «Механічний рух».....	95

**Розділ 3. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА**

§ 17. Взаємодія тіл. Сила.....	97
§ 18. Результат дії сили: зміна швидкості або деформація тіла.....	100
§ 19. Графічне зображення сил.....	102
Вправа 10.....	105
§ 20. Явище інерції. Інертність тіла.....	105
Вправа 11.....	107
§ 21. Маса. Вимірювання маси тіла.....	108
§ 22. Густина речовини.....	110
Вправа 12.....	114
§ 23. Сила тяжіння.....	114
Вправа 13.....	117
§ 24. Види деформацій. Сила пружності.....	117
§ 25. Закон Гука. Пружинні динамометри.....	121
Вправа 14.....	125
§ 26. Вага тіла. Невагомість.....	125
Вправа 15.....	129
§ 27. Тертя. Сила тертя.....	129
Вправа 16.....	136
Завдання для самоперевірки з розділу «Взаємодія тіл. Сила».....	136
§ 28. Тиск твердих тіл на поверхню.....	138
Вправа 17.....	140
§ 29. Тиск газів і рідин. Закон Паскаля.....	141
Вправа 18.....	145
§ 30. Гідростатичний тиск.....	145
Вправа 19.....	148
§ 31. Атмосферний тиск.....	149
§ 32. Барометри.....	151
§ 33. Сполучені посудини.....	153
Вправа 20.....	155
§ 34. Манометри і насоси.....	155
§ 35. Виштовхувальна сила. Закон Архімеда.....	159
Вправа 21.....	162
§ 36. Плавання тіл.....	163
Вправа 22.....	166
§ 37. Повітроплавання.....	166
Найголовніше у розділі 3.....	168
Завдання для самоперевірки з розділу «Взаємодія тіл. Сила. (Тиск твердих тіл, рідин, газів)».....	170





## Розділ 4. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

§ 38. Механічна робота.....	173
§ 39. Потужність.....	177
Вправа 23.....	179
§ 40. Механічна енергія та її види.....	180
§ 41. Закон збереження й перетворення енергії в механічних процесах і його практичне застосування.....	184
Вправа 24.....	189
§ 42. Прості механізми. Машини й механізми.....	190
§ 43. Важіль.....	192
Вправа 25.....	199
§ 44. Блоки. Похила площина.....	200
Вправа 26.....	203
§ 45. «Золоте правило» механіки. Коефіцієнт корисної дії механізмів.....	204
Вправа 27.....	208
Найголовніше у розділі 4.....	209
Завдання для самоперевірки з розділу «Механічна робота та енергія».....	211

## ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторне обладнання.....	214
<i>Лабораторна робота № 1. Ознайомлення з вимірювальними приладами. Визначення ціни поділки шкали приладу.....</i>	<i>218</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Вимірювання об'єму твердих тіл, рідин і сипких матеріалів .....</i>	<i>220</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Вимірювання розмірів малих тіл різними способами.....</i>	<i>221</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу.....</i>	<i>223</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Дослідження коливань нитяного маятника.....</i>	<i>224</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Вимірювання маси тіл методом зважування.....</i>	<i>187</i>
<i>Лабораторна робота № 7. Визначення густини речовини (твердих тіл і рідин).....</i>	<i>228</i>
<i>Лабораторна робота № 8. Дослідження пружних властивостей тіл.....</i>	<i>230</i>
<i>Лабораторна робота № 9. Визначення коефіцієнта тертя ковзання.....</i>	<i>231</i>
<i>Лабораторна робота № 10. З'ясування умов плавання тіла.....</i>	<i>232</i>
<i>Лабораторна робота № 11. Вивчення умови рівноваги важеля.....</i>	<i>234</i>
<i>Лабораторна робота № 12. Визначення ККД похилої площини.....</i>	<i>236</i>
Відповіді до вправ та завдання для самоперевірки.....	238
Додатки.....	242



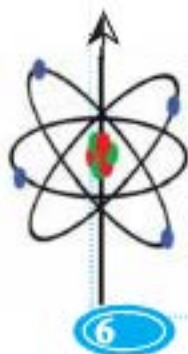
## СЛОВО ДО УЧНІВ

Спокоївечно людина прагне пізнати світ навколо себе. Вона задає собі безліч запитань: чому кожного ранку встає сонце і рухається по небосхилу зі сходу на захід; чому вночі світить місяць, але не гріє; чому на небі так багато зірок; чому зима змінюється весною, а потім весна – літом, літо – осінню, після якої знову настає зима – і так повторюється з року в рік; чому гримить грім і блискавка підпалює дерева; чому одні тіла плавають у воді, а інші тонуть. Чому? Чому? Чому?... Безліч запитань. Намагання знайти відповіді на них спричинили виникнення науки, яку давні греки називали **фізикою**. Назва ця походить від грецького слова **φυσικα** (фіюзіка), що в перекладі означає **єство або природа**.

Сучасна людина живе у світі техніки й високих технологій, насиченому різноманітними технічними пристроями. Саме фізика є теоретичною базою для їх створення. Відомо, що відкриття фізичних законів електрики та магнетизму визначило риси людської цивілізації на декілька століть наперед. Наступні відкриття в галузі фізики дали до рук людини невичерпні джерела енергії і стали основою мікроелектроніки та комп'ютерної техніки.

Але фізика – це не тільки технічні досягнення, які створюють нам комфортні умови життя (холодильники, пылососи, радіо- і телеприймачі, відеоманітофони, комп'ютери й мобільні телефони). Фізика – це в першу чергу світогляд, який має допомогти нам зрозуміти місце людини у Всесвіті, зрозуміти її покликання і призначення. З цієї точки зору досягнення фізики – це надбання всієї людської цивілізації, важлива складова культури людства.

Що дає людині вивчення фізики? **Насамперед, систематизовану інформацію про навколишній світ та уміння здобувати таку інформацію**. Тільки знаючи фізику, можна проектувати й будувати машини, будинки, заводи, електростанції, засоби теле- і радіозв'язку тощо. З огляду на це фізика необхідна інженеру. Проте вона необхідна – насамперед, з професійного погляду – і майбутньому гуманітарію, і природознавцю, і лікарю. Вивчення фізики має важливе значення для розвитку наукового світогляду та культури мислення. Виникнення світу, проблеми простору й часу, структури матерії та її найважливіших властивостей – це теж приклади проблем, якими переймаються учені-фізики.







Той, хто не матиме хоча б найпростіших початкових знань із сучасної фізики, буде позбавлений доступу до цікавого і важливого світу знань про природу та новітні досягнення науки й техніки. Фізика є загальноосвітнім навчальним предметом і тому не випадково вивчається у загальноосвітніх школах усіх країн світу. Разом з іншими науками вивчення фізики має на меті підготувати вас до визначення свого подальшого життєвого шляху.

Автори прагнули презентувати фізику як живу науку, що є частиною загальнолюдської культури. У підручнику наведено багато прикладів проявів та застосування фізичних законів у житті, подано відомості з історії фізичних відкриттів. Разом з тим ми прагнули не перевантажувати вас розглядом деталей і подробиць. У деяких місцях матеріал, позначений зірочкою (\*), адресується учням, які бажають поглибити свої знання з фізики. Навчальний матеріал, помічений (☼), пропонується для читання учням, які цікавляться астрономією.

*Автори*

## СЛОВО ДО ВЧИТЕЛЯ

Підручник призначений для вивчення фізики у 7 класах відповідно до навчальної програми з фізики для 7-9 класів загальноосвітніх навчальних закладів (за новим Державним стандартом базової і повної загальної середньої освіти), затвердженою наказом Міністерства освіти та науки, молоді та спорту України від 06.06.2012 р. № 664, з якою можна ознайомитися на сайті Міністерства освіти і науки України за адресою: [www.mon.gov.ua](http://www.mon.gov.ua).

Автори спробувати подати фізику як науку, що є частиною загальної людської культури. Підручник містить відомості з історії фізики, описи фізичних дослідів і лабораторних робіт. Крім того, в підручнику вміщено опис основного фізичного обладнання, що використовується учнями на уроках фізики в 7 класі.

Відомо, що **чітка структура підручника полегшує** розуміння навчального матеріалу. Для цього в тексті **виокремлено головне** (означення, вагомі факти, твердження, формули). У кінці параграфів і розділів **сформульовані висновки**. Їх можна використо-



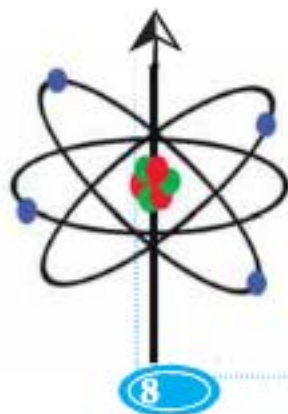


увати для *узагальнень, повторення пройденого навчального матеріалу або для конспектування*.

Параграф починається з переліку питань (заголовків частин параграфа), що розглядатимуться. Потім – послідовний виклад навчального матеріалу (де доцільно – в діалогах). Завершуються параграфи запитаннями і вправами для самоперевірки. В кінці деяких параграфів, виходячи з міркувань доцільності, наведені вправи з диференційованими завданнями. В кінці кожного розділу вміщено тестові завдання для самоконтролю.

У підручнику є додатковий матеріал, який призначено для учнів, що цікавляться фізикою. Цей матеріал розміщено в рубриці «Це цікаво знати» або позначено (\*), він призначений для тих, хто хоче знати більше, й не обов'язковий для вивчення.

Крім того, в підручнику міститься навчальний матеріал, позначений (☼), який пропонується для читання учням, що цікавляться астрономією.





## Юні друзі!

На уроках природознавства ви досліджували природу, ознайомлюючись з її явищами та закономірностями. У сьомому класі продовжується більш глибоке пізнання навколишнього світу. Та на відміну від попередніх років навчання ви розпочинаєте вивчати фізику – окремий навчальний предмет. Опанування фізики, як однієї з найбільш важливих сучасних наук про природу, триватиме до закінчення школи.

**Як організоване навчання фізики в школі.** Починаючи із сьомого класу, фізика вивчається як самостійний шкільний предмет. На уроках фізики ви не тільки поглиблюватимете свої знання про природу, а й розвиватимете світогляд, мислення, уміння працювати з різноманітними приладами та використовувати їх для дослідження навколишнього світу. Шкільна фізика – це не тільки фізичні знання та складні формули. Уроки фізики – це, насамперед, можливість проявити дослідницькі здібності, творчий пошук відповідей на питання, що виникають під час пізнання природи.

Ви навчитеся ставити та розв'язувати навчальні задачі, планувати й виконувати дослідження. Навчання фізики в школі організоване таким чином, що розповіді вчителя супроводжуються цікавими дослідями та демонстраціями. Захоплюючим навчання фізики роблять різні види навчальної діяльності. Це і робота з підручником та довідковою навчальною літературою, і виконання різноманітних дослідів та лабораторних робіт у шкільному кабінеті фізики, і розв'язування розрахункових фізичних задач та задач на пояснення фізичних основ природних явищ. У вас буде можливість виявити оригінальність і творчий підхід під час виконання справжніх дослідницьких завдань – навчальних проєктів. Під керівництвом учителя ви будете разом із товаришами, так само як і відомі вчені-фізики, шукати відповіді на актуальні проблеми сучасної фізики. Хтось із вас запропонує рішення, що матимуть практичне значення для науки й техніки. Урізноманітнить навчання використання комп'ютерних програм, мультимедійних презентацій, у створенні яких ви зможете взяти активну участь. Підготовка домашніх завдань передбачатиме роботу з пошуковими системами мережі Інтернет. Кожен з вас матиме можливість взяти участь у фізичних олімпіадах і дистанційних змаганнях юних фізиків на спеціальних освітніх порталах.

Та опанування фізики, як і інших фундаментальних наук про природу, вимагатиме від вас організованості, акуратності, систематичної навчально-пізнавальної діяльності, ретельної роботи на уроці та під час виконання домашніх завдань. Від вашої наполегливості в оволодінні основами фізич-





них знань у цьому класі залежатиме успіх вашого подальшого навчання та майбутньої професійної діяльності, адже вивчення фізики, яке триватиме й далі, не завершується в загальноосвітній школі. Більшість професій потребують ґрунтовних знань з фізики. Підготовка майбутніх лікарів, інженерів, архітекторів, учених-фізиків неможлива без міцних знань з фізики, отриманих у школі.

**Фізичний кабінет та його обладнання.** Під час навчання фізики ви будете працювати у фізичному кабінеті. Як правило, він складається з двох суміжних кімнат: кабінету-лабораторії та лаборантської. В кабінеті-лабораторії розташовуються робочі місця вчителя та учнів, а в лаборантській – місця для зберігання навчального обладнання (рис. 1.).



Рис. 1. Обладнання фізичного кабінету

Обладнання фізичного кабінету поділяють на декілька груп:

- 1) спеціальне обладнання приміщення (мережа електричного струму та водопостачання, устаткування затемнення, класна дошка, екран для мультимедійного проектора, демонстраційний стіл, меблі для робочих місць учнів та зберігання приладів, портрети, таблиці);
- 2) комплекс технічних засобів навчання (графо- та мультимедійні проектори, програвач, телевізор, комп'ютер);
- 3) демонстраційні прилади (використовуються вчителем для показу та пояснення фізичних явищ, принципу дії установок і включають комплекти та набори, вимірювальні прилади);
- 4) обладнання для лабораторних робіт (фронтальних дослідів та практикумів);
- 5) допоміжне обладнання (прилади, які входять до складу демонстрацій-



них установок, наприклад, джерела живлення, нагрівачі, насоси, лабораторні інструменти, посуд);

6) друковані та комп'ютерні дидактичні матеріали (навчальні таблиці, плакати, діафільми, картки для фронтальної перевірки знань, зошити для виконання лабораторних робіт, педагогічні програмні засоби з фізики);

7) бібліотека фізичної літератури для вчителя та учнів (підручники, посібники, енциклопедії, довідники, науково-популярні видання з фізики й техніки).

Все обладнання фізичного кабінету розраховане на тривале використання і потребує бережливого ставлення.

**Правила безпеки у фізичному кабінеті.** Працюючи в кабінеті фізики, слід дотримуватися певних правил, які зроблять вашу навчальну діяльність цікавою, результативною та безпечною:

▶ перебуваючи в кабінеті фізики, займайте визначене учителем робоче місце й не залишайте його без дозволу вчителя;

▶ не псуйте обладнання фізичного кабінету, бережно та раціонально використовуйте його;

▶ не користуйтеся спеціальним обладнанням учнівських столів (наприклад, розетки живлення), якщо не виконуєте досліди або лабораторні роботи;

▶ без дозволу вчителя не виймайте обладнання зі спеціальних місць його зберігання;

▶ не використовуйте обладнання не за призначенням;

▶ перед початком лабораторної роботи уважно прослухайте інструктаж та вказівки вчителя, чітко з'ясуйте порядок і правила її виконання;

▶ прилади та обладнання розташовуйте на робочому столі таким чином, щоби запобігти їх падінню, перекиданню, роз'єднанню складових частин;

▶ уважно стежте за справністю обладнання, кріплень пристроїв, цілісністю ізоляції провідників;

▶ у разі виявлення пошкодження обладнання, іскріння, запаху горілого негайно припиніть роботу і повідомте вчителя;

▶ не торкайтеся обертових частин пристроїв, не нахиляйтеся над обладнанням;

▶ якщо для виконання лабораторної роботи потрібен електричний струм, вмикайте джерело живлення тільки після ретельної перевірки правильності підключення обладнання та дозволу вчителя;

▶ не торкайтеся елементів електричного кола, що перебувають під напругою;





після завершення лабораторної роботи з використанням електричного струму, а також при необхідності під'єднання нових приладів, спочатку відключіть джерело струму і тільки потім розбирайте електричне коло;

після закінчення виконання лабораторної роботи приберіть робоче місце згідно з вказівками вчителя;

у разі травмування або погіршення самопочуття негайно припиніть роботу та повідомте вчителя.

Дотримання цих правил є обов'язковою умовою роботи у фізичному кабінеті.



### Запитання для самоперевірки

1. Чому важливо вивчати фізику в школі?
2. Які основні види навчальних завдань виконують учні під час вивчення фізики?
3. Як облаштовано кабінет фізики? Для чого призначено його обладнання?
4. Які основні правила роботи у фізичному кабінеті?
5. Які умови безпечної роботи під час виконання дослідів та лабораторних робіт?

### Вправа 1

1. Для яких професій, на вашу думку, важливим є знання фізики?
2. Розгляньте зміст і предметно-іменний покажчик підручника. Користуючись змістом, знайдіть, на яких сторінках подано опис першої лабораторної роботи.
3. За предметно-іменним покажчиком знайдіть в тексті підручника інформацію про українських учених В. І. Вернадського, Ю. В. Кондратюка, І. П. Пулюя, Б. Є. Патона.
4. Якщо маєте таку можливість, порівняйте знайдений у попередньому завданні матеріал з інформацією, наявною в Інтернеті. Якими цікавими фактами про життя та діяльність учених можна доповнити матеріал підручника? Запишіть кілька таких фактів і використайте матеріал на наступних уроках.



## РОЗДІЛ 1. ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

Необхідність знань з фізики для людини є історично зумовленою. Розвиток людства, науково-технічний прогрес, космічні польоти і створення комп'ютерної техніки – все це було б неможливим без досягнень фізичної науки та самовідданої праці її творців – видатних учених і дослідників.

### § 1. Фізика як фундаментальна наука про природу

- *Що вивчає сучасна фізика?*
- *Зв'язок фізики з іншими науками*
- *Фізичні явища та методи їх наукового пізнання*

**Що вивчає сучасна фізика?** Життя сучасної людини пов'язане з використанням у професійній діяльності та повсякденному житті різноманітних машин, механізмів і обладнання. Їх створення та експлуатація стали можливими тому, що впродовж століть вчені відкривали, накопичували та узагальнювали фізичні знання. Винайдення та виготовлення транспортних засобів (літаків, автомашин, кораблів та космічних ракет), побутової техніки в нашому будинку (пральних машин, холодильників, кондиціонерів і персональних комп'ютерів), проектування гідро-, вітро-, тепло- та атомних електростанцій, що виробляють електричну енергію для різноманітних пристроїв, завдячує фізичним дослідженням. Фізики вивчали і перевіряли на практиці особливості виникнення та використання електричного струму, закономірності поширення світла, властивості рідин та газів, і тіл, що рухаються в них. Важливе значення мали дослідження фізичних основ розвитку рослин, тварин і людини.

Таким чином, фізика здобуває знання про природу, оточуючий світ та його закономірності, необхідні людині для забезпечення комфортного життя та продуктивної перетворювальної діяльності.

Термін **«фізика»** походить від грецького *«φύσις»*, що означає природа. В науку цей термін увів славетний давньогрецький вчений Аристотель (рис. 1.1), який вперше в писемній історії людства узагальнив існуючі на той час знання про природу.

Сучасна фізика є однією з фундаментальних наук про природу. Тобто такою наукою, яка має чудову властивість – формулювати загальні закони природи, вивчаючи та досліджуючи достатньо прості явища. Однією з основних задач фізики як природничої науки є встановлення законів, які





пов'язують між собою різноманітні явища в природі. Так, вивчаючи зміну дня та ночі, фізики встановили, що Земля, освітлювана Сонцем, обертається навколо своєї осі (рис. 1.2). А падіння яблука зумовлене притяганням його до Землі (рис. 1.3).

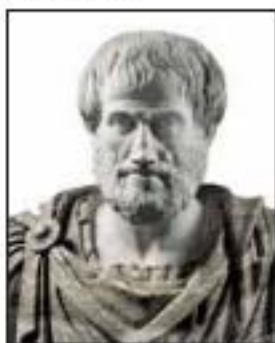


Рис. 1.1. **Аристотель** (384-322 рр. до н. е.) – давньогрецький учений-енциклопедист. Фундатор біології, фізики, етики, логіки, психології, соціології

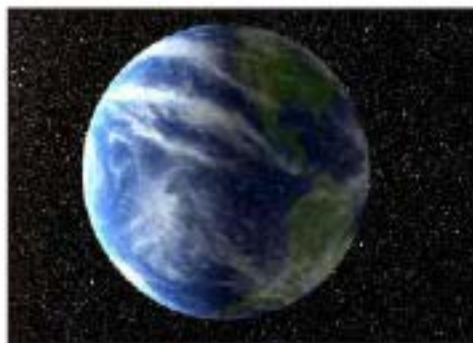


Рис. 1.2. Зміна дня і ночі пояснюється тим, що Земля, яку освітлює Сонце, обертається навколо своєї осі

**Фізика – наука про найбільш загальні й фундаментальні закономірності матеріального світу.**



Рис. 1.3. Падіння яблука зумовлене притяганням його до Землі



Рис. 1.4. Фізика є основою нових наукових напрямів дослідження природи





**Зв'язок фізики з іншими науками.** Не тільки фізика займається вивченням природи. Такі науки як географія, біологія, хімія мають свої цілі та прийоми вивчення природи й отримують важливі наукові результати. Та лише знання фізичних основ тих чи інших явищ дає можливість установити якісні відмінності тісно пов'язаних між собою наук. Знання законів фізики допомагає розумінню особливостей клімату та природи вітрів у географії, будови органів зору та слуху тварин в зоології, взаємодії хімічних елементів у хімії. Завдяки загальності та фундаментальності закони фізики використовуються в усіх природничих науках. Виникли й успішно розвиваються нові напрями фізики – геофізичний, біологічний, астрономічний, хімічний та інші (рис. 1.4).

**Фізичні явища та методи їх наукового пізнання.** Світ, в якому живе людина, надзвичайно мінливий. Ми постійно спостерігаємо зміни дня і ночі, пір року, зміни погоди та клімату, самопочуття людини, положення планет, автомобілів і літаків. У науці такі зміни називають *фізичними явищами*. Прикладами фізичних явищ є рух дощової краплини, блискавка, грім, веселка, вітер, кипіння води, танення льоду, свічення Сонця та Місяця (рис. 1.5). Рух літаків, човнів і автомобілів, свічення монітора комп'ютера, дзвінок мобільного телефона теж є прикладами фізичних явищ (рис. 1.6.).



Рис. 1.5. Фізичні явища в природі



Рис. 1.6. Фізичні явища в техніці

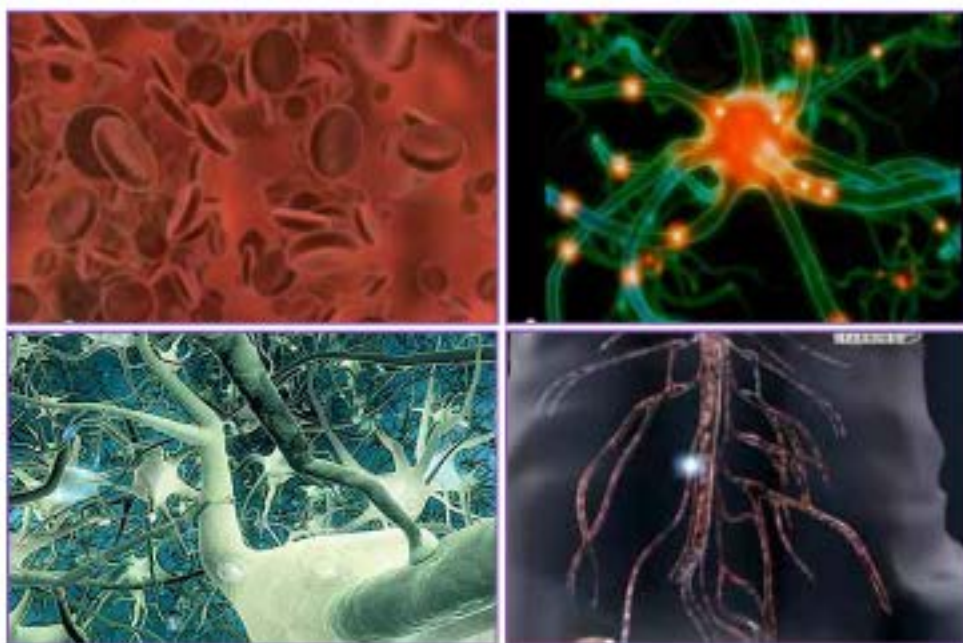


Рис. 1.7. Фізичні явища в живих організмах





Фізичні явища відбуваються і в живих організмах. Волога піднімається по стеблинах рослин, кров тече по судинах, а по нервових закінченнях передаються сигнали від головного мозку до життєво важливих органів тварини і людини (рис. 1.7.). Фізичні явища настільки ж різноманітні, наскільки різноманітний світ природи. Деякі фізичні явища мають спільні властивості, залежно від яких виділяють механічні, теплові, електромагнітні, світлові, звукові та інші явища і процеси. (рис. 1.8.)

Саме тому *фізику розглядають як науку про найбільш прості й найбільш загальні властивості явищ природи.*

З дитинства ми знаємо, що бурулька тане в теплій кімнаті, пластилін легко змінює форму, а магніт взаємодіє з дрібними металевими предметами, притягуючи їх. Яким чином з'явилися ці знання? Багато знань людина отримує з власних спостережень. Завдяки спостереженням фізика накопичила значний обсяг знань про природу. Найскладнішим етапом наукового спостереження є *виявлення суттєвих ознак* спостережуваного явища. Для досягнення цього дослідник має володіти здатностями здогадки та узагальнення, встановлення зв'язку між явищами та їх причинами.

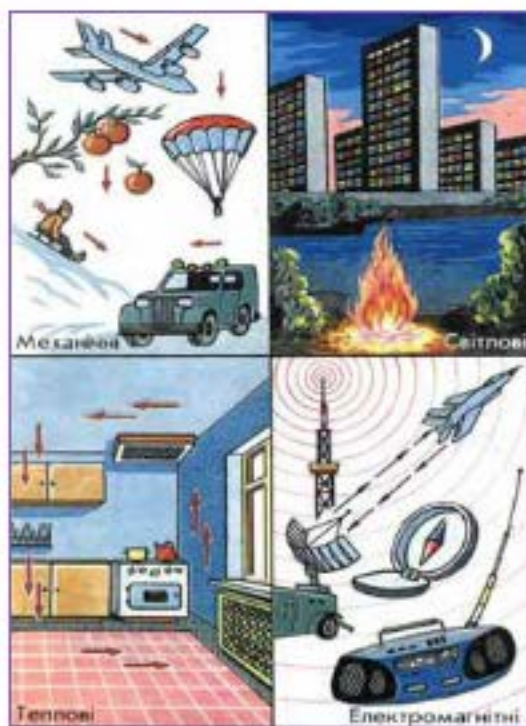


Рис. 1.8. Фізичні явища



Разом з тим спостереження не завжди дають можливість з'ясувати причини тих чи інших явищ. Тому у фізиці, так само, як і інших природничих науках (наприклад, хімії та біології), знання отримують не тільки із спостережень, а й із дослідів. Фізичні досліді проводять цілеспрямовано (з певною метою) та за попередньо визначеним планом. Під час дослідів виконують спеціальні вимірювання. Спостерігаючи за падінням тіл на поверхню Землі, можна зробити висновок, що тіло рухається все швидше. Але дослідити особливості вільного падіння тіл можна лише шляхом спеціального досліду. За легендою, такий дослід поставив видатний італійський вчений Г. Галілей, відпускаючи різні кулі з похилої вежі (рис. 1.9).



Рис. 1.9. *Схема дослідів Г. Галілея*

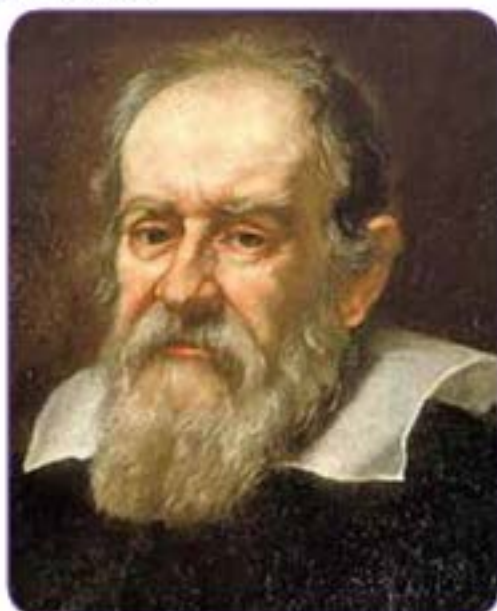


Рис. 1.10. **Галілео Галілей** (1564-1642) – італійський мислитель епохи Відродження, один із засновників сучасного експериментально-теоретичного природознавства

Дослід, науковий експеримент – це ніби питання природі. Шляхом зміни умов дослідів, міркувань учені приходять до формулювання припущення про причини, ознаки та наслідки явища.

**Спостереження та досліді є основними джерелами фізичних знань.** Дослід, або експеримент, пов'язаний зі спостереженням, але не тотожний йому: в науковому експерименті дослідники цілеспрямовано впливають на досліджуваний процес з тим, щоб виявити зв'язок причин і наслідків спостережу-





ваного процесу. Науковий експеримент часто дає змогу відкривати фізичні закони.

**Фізичний закон** – опис співвідношень у природі, які виявляються за певних умов в експерименті (досліді).

Г. Галілей дав кількісний опис вільного падіння тіл на землю, але не зміг дати відповідь на питання, чому вони падають. Ісаак Ньютон, основоположник класичної фізики, висловив припущення, згідно з яким причиною падіння тіл на поверхню Землі є всесвітнє тяжіння. Ньютоном була створена, як побачимо далі, класична теорія всесвітнього тяжіння. Всю сукупність законів, які описують широке коло явищ, називають **науковою теорією**. Наприклад, закони Ньютона складають зміст однієї з перших фізичних теорій – класичної механіки.



### Головне у цьому параграфі

**Фізика** – це наука про найбільш загальні й фундаментальні закономірності матеріального світу. Різноманітні зміни, що відбуваються в природі, називають фізичними явищами. Прикладами фізичних явищ є рух дощової краплини, блискавка, грім, веселка, вітер, кипіння води, танення льоду, свічення Сонця та Місяця, рух літаків, човнів та автомобілів, свічення монітора комп'ютера, дзвінок мобільного телефона.

Основними джерелами фізичних знань є спостереження та досліді. Наукові експерименти дають змогу відкривати фізичні закони. Фізичний закон – це опис співвідношень у природі, який проявляється за певних умов в експерименті (досліді).

Завдяки загальності та фундаментальності законів фізики вони використовуються у всіх природничих науках.



### Запитання для самоперевірки

1. Які науки про природу ви знаєте?
2. Що таке фізичне явище? Наведіть приклади фізичних явищ.
3. Яким чином людина отримує знання про явища природи?
4. Що спільного між спостереженнями та дослідіми? Чим вони відрізняються?
5. Як інші науки використовують знання, отримані фізикою?





## Експериментальне завдання

Спостереження показують, що тепле повітря піднімається вгору, а холодне опускається донизу. Запропонуйте схему досліду, яким можна перевірити це спостереження.

## § 2. Фізичні тіла. Початкові відомості про будову речовини

- **Фізичні тіла. Речовина і поле. Матерія**
- **Молекули. Початкові відомості про будову атома**
- **Становлення атомно-молекулярного вчення про будову речовини**

Важливим завданням фізики як фундаментальної природничої науки є спостереження та опис явищ природи. Але людину завжди цікавили питання, чому саме таким чином ці явища протікають. Чому яблуко падає донизу, а повітряна кулька підіймається вгору? Чому шматочком алмазу можна надрізати скло, а такий же шматочок льоду легко розламати? Чому сенсорний екран мобільного телефона можна легко пошкодити, а залізнична рейка витримує важкий потяг? Знайти відповіді на питання щодо тих чи інших властивостей тіл можна лише за умови, якщо знати особливості їх внутрішньої будови.

**Фізичні тіла. Речовина і поле. Матерія.** Коли ми вивчаємо різноманітні фізичні явища, то звертаємо увагу на те, що всі вони розглядаються відносно різних предметів або їх утворень (наприклад, танення льоду, свічення монітора, рух футбольного м'яча). Для позначення всіх цих об'єктів у фізиці використовують науковий термін «фізичне тіло». Фізичними тілами є Земля, Місяць, Сонце та зорі, вода, лід, комп'ютер, велосипед і т. ін.).

У природі спостерігається величезна розмаїтість фізичних тіл, так само як і фізичних явищ. Зображені на малюнку тіла відрізняються за формою та об'ємом (рис. 1.11). Тіла можуть мати однаковий об'єм та різну форму (наприклад, шматки свинцю та виплавлений з них свинцевий брусок) (рис. 1.12). Тіла можуть мати однакову форму, але різний об'єм (наприклад, повітряна куля та кулька для прикрашання свят) (рис. 1.13). Форма та об'єм тіл можуть змінюватися під дією інших тіл. Так, розплавивши мідний дріт, отримаємо шматок міді неправильної форми. Повітряна куля на морозі зменшується в об'ємі. Пояснити особливості перебігу фізичних явищ та властивості тіл можливо лише тоді, коли відомо, з чого вони складаються і як внутрішня будова тіл впливає на їх властивості.



Рис. 1.11. Фізичні тіла відрізняються формою та розмірами

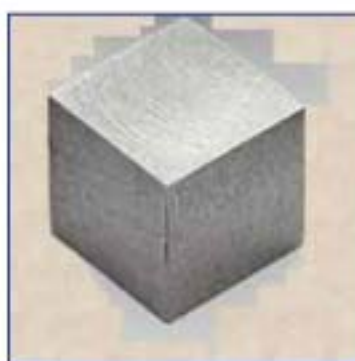


Рис. 1.12. Шматки свинцю та виплавлений з них свинцевий брусок мають різну форму, але однаковий об'єм



Рис. 1.13. Повітряна куля та кулька для прикрашання свят мають однакову форму, але різний об'єм

Таким чином, **тілами у фізиці називають предмети й об'єкти, які нас оточують**. Але людину цікавлять не тільки самі фізичні тіла, а й те, з чого вони складаються. **Речовиною у фізиці називають те, з чого складаються фізичні тіла**. Знання про будову речовини необхідні людині для того, щоб уміти їх якнайкраще використовувати.





Так, люди помітили, що для полегшення оброблення заліза його слід добре нагріти. До цього часу ковалі в кузнях розігрівають металеві заготовки в спеціальних печах і лише потім виковують з них потрібні деталі. Щоб надати міцності глиняному посуду, його обпалюють, а потім покривають поливою – спеціальним склоподібним сплавом. Для виготовлення автомашин і літаків використовують легкі та міцні матеріали, а для виробництва реактивних двигунів, атомних реакторів використовують жаростійкі матеріали, які не змінюють своїх властивостей за високих температур. Потреба у речовинах зі спеціально заданими властивостями постійно зростає. Якщо у природному стані потрібних речовин немає або їх недостатньо, вони створюються штучно. Широке застосування в техніці та побуті знайшли такі речовини як пластмаса, гума, капрон, лавсан. Колись гумові вироби виготовляли з каучуку, який отримували із соку спеціальних дерев. Але потреби в цій речовині з часом настільки зросли, що була створена спеціальна технологія виробництва штучного каучуку.

Для означення всього, що є у Всесвіті, використовують термін **«матерія»**. **Матерія – це все те, що існує в оточуючому світі:** Місяць, Сонце, Земля, зорі, рослини і тварини, світло і радіохвилі. Теплове випромінювання, яке ми не бачимо, але відчуваємо, наближаючись до радіатора водяного опалення в квартирі, теж є матеріальним, або реально існуючим. Матеріальними є також і радіохвилі, випромінювання мобільного телефона. Людина не відчуває їх за допомогою органів чуттів, але вони існують: їх сприймають радіоприймачі, телевізори, мобільні телефони.

**Матерія – це різноманітні речовини, з яких складаються фізичні тіла:** вода, повітря, алюміній, мідь, залізо, пластилін. **Матерією є також і електромагнітне поле, проявом якого є електромагнітне випромінювання.** Ми не помічаємо випромінювання, що йде від пульта дистанційного керування, але підтвердженням його існування є те, що за його допомогою вмикається телевізор. А ще це випромінювання можна «побачити» за допомогою цифрової відеокамери (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Інфрачервоне випромінювання пульта дистанційного керування, зняте цифровою відеокамерою



Таким чином, *матерія існує у формі поля та речовини*. Терміни «*фізичне тіло*», «*речовина*», «*поле*», «*матерія*» тісно пов'язані між собою і характеризують взаємозв'язок між фізичними явищами та процесами, в якому беруть участь фізичні тіла.

**Молекули. Початкові відомості про будову атома.** Для дослідження будови речовини фізики використовують спеціальні пристрої та обладнання. Але навіть і деякі прості досліди можуть дати певні уявлення про особливості будови речовини. Шматок крейди ви можете розламати навпіл, потім ще раз і ще. Зовсім маленький шматочок можна розтерти в руках – на пальцях залишаться дрібні частинки речовини, з якої складається крейда.

Якщо крапельку фарби помістити у склянку з водою, вона розчиниться і зафарбує воду. Відливши частину розчину в іншу склянку і доливши її чистою водою, помітимо, що розчин буде мати світліше забарвлення. Зробивши так декілька разів, переконаємося, що з кожним разом розчин стає світлішим.

Цей дослід, так само як і дослід зі шматочком крейди, свідчить про те, що частинки речовини *є дуже малими, а сама речовина є подільною*. *Будь-яка речовина не є суцільною, вона складається з окремих частинок*. Про те, яким чином розташовані частинки речовини, з якої складається тіло, можна дізнатися з таких дослідів.

Легенько затиснувши в руці резервуар побутового термометра будемо спостерігати, як стовпчик рідини піднімається вгору (рис. 1.15). Оскільки температура людського тіла зазвичай більша, ніж температура в кімнаті, то рідина стовпчика термометра нагрівається і її рівень збільшується. Отже, під час нагрівання рідина розширюється.



Рис. 1.15. Розширення рідини



Рис. 1.16. Поршневі кільця для двигунів автомобілів

Влітку під час нагрівання на сонці розширюються залізничні рейки, тому між ними залишають проміжки. Поршневі кільця для двигунів автомобілів виготовляють таким чином, щоби вони могли розширюватися під





час роботи двигуна (рис. 1.16). Отже, при нагріванні залізо розширюється, а при охолодженні звужується. Яким чином можна пояснити ці явища? З попередніх дослідів ви знаєте, що речовини складаються з частинок дуже малих розмірів. Пояснити збільшення або зменшення об'єму тіла можна, припустивши, що між частинками речовини, з якої воно складається, є **певні проміжки** (подібні припущення у фізиці називають **гіпотезами**, від грецького *hypothesis* – припущення, основа). Коли частинки віддаляються одна від одної за певних умов (наприклад, під час нагрівання тіла), об'єм тіла збільшується. А коли частинки речовини зближаються, то об'єм тіла зменшується. Як дослідили фізики, величина проміжків між частинками визначає властивості фізичних тіл, які можуть перебувати у твердій, рідкій, газоподібній формі. У твердих тілах і рідинах відстані між частинками значно менші, ніж в газах.

Частинки, з яких складається більшість речовин, у фізиці називають **молекулами** (від латинського слова, що означає «маленька маса»). Вода складається з молекул води, а найменшими частинками цукру є молекули цукру.

**Молекула – найменша частинка цієї речовини, що зберігає її хімічні властивості.**

Молекули різних речовин мають різні розміри. Але всі вони надзвичайно малі. Якби молекули речовин, з яких складається яблуко, можна було би збільшити до розмірів яблука, то саме яблуко збільшилося би до розмірів Землі.

Навіть надзвичайно тонка наноплівка алмазоїда складається з декількох шарів молекул (рис. 1.17).

Отже, розміри молекул є надзвичайно малими. Навіть розміри «гігантських» молекул, отриманих людиною, у тисячі разів менші від товщини людського волосся (рис. 1.18).

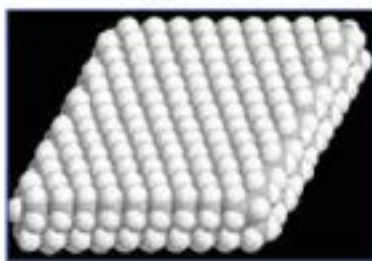


Рис. 1.17. Модель наноплівки з алмазоїда



Рис. 1.18. Розмір фулеренів (модифікація молекул вуглецю) не перевищує один нанометр ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ )





Важливим науковим результатом, отриманим фізиками та хіміками під час вивчення молекулярної будови речовини, став висновок про те, що **молекули однієї й тієї ж речовини є однаковими**. Однакові властивості найменших частинок будь-якої речовини, яка не містить домішок, надають їй специфічних ознак, за якими вона відрізняється від інших речовин. Саме тому вода, виділена із солодкого чаю, апельсинового соку, мильного розчину не буде відрізнятися за основними властивостями від звичайної чистої води. Молекули води однакові у різних сполуках, і вони є характерними тільки саме для такої речовини.

Як ви побачили, молекули є надзвичайно маленькими частинками речовини. Але дослідження показали, що й вони також є подільними. **Частинки, з яких складаються молекули, називають атомами**. Щоб зобразити, наприклад, молекулу води, яка складається з двох атомів Гідрогену (частинок речовини, яку називають воднем) та одного атома Оксигену (частинок речовини, яку називають киснем), використовують кружечки різного кольору (рис. 1.19). На сьогодні відомо мільйони типів молекул, що складаються з різної кількості атомів (рис. 1.20).



Рис. 1.19. Молекула води



Рис. 1.20. Різні типи молекул

Атоми надзвичайно малі. Тому їх не можна побачити в оптичний мікроскоп. Найменша частинка, яку можна спостерігати в такий мікроскоп, має складатися з мільярда атомів. Фізики змогли «побачити» атом тільки після створення складних приладів – електронного мікроскопа та іонного проєктора. Дослідження, виконані такими приладами, підтверджують подільність речовини. На фотознімку вістря голки з вольфраму, зробленому за допомогою іонного мікроскопа, видно окремі атоми (жовті крапки), між якими є проміжки, та групи атомів (жовті плями) (рис. 1.21).

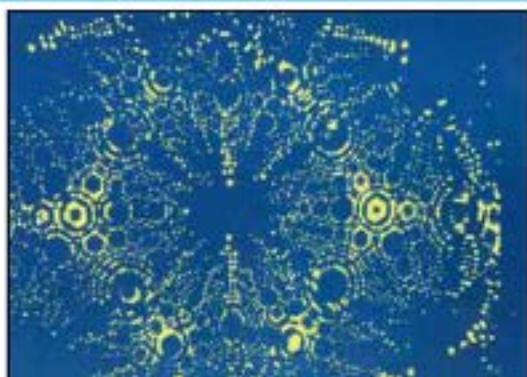


Рис. 1.21. Фотографія вістря голки, виготовленої з вольфраму

Фізики встановили, що атоми також не є неподільними. Вони складаються з дрібніших частинок. Досліди англійського вченого Е. Резерфорда показали, **що всередині атомів розташоване ядро**, розміри якого в сто тисяч разів менші, ніж розміри всього атома. Незважаючи на такий малий розмір, в ядрі сконцентрована майже вся маса атома. **Навколо ядра, яке має позитивний заряд, обертаються електрони – негативно заряджені частинки**. Будова ядра теж виявилася складною. Ядро складається з **протонів** (позитивно заряджених частинок) та **нейтронів** (частинок, які не мають електричного заряду) і має позитивний заряд.

Найпростіший атом Гідрогену складається з позитивно зарядженого ядра, навколо якого обертається один електрон (рис. 1.22, а). Навколо ядра атома Гелію обертаються два електрони (рис. 1.22, б). Така модель отримала назву **планетарної**, за подібністю будови атома до Сонячної системи, в якій навколо нашої масивної Зорі обертаються значно менші за розмірами та масами планети.



Рис. 1.22, а. Будова атома Гідрогену (H)

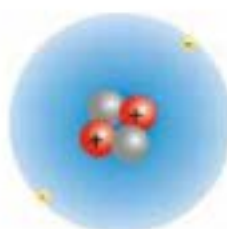


Рис. 1.22, б. Будова атома Гелію (He)

**Атом є електрично нейтральним**, оскільки за величиною заряд ядра дорівнює сумарному заряду електронів (**кількість протонів у ядрі дорів-**





нює кількості електронів, які обертаються навколо нього). Якщо атом втрачає електрон внаслідок взаємодії з іншими атомами, він перетворюється в **позитивний йон** (має надлишок позитивного заряду). Атом, який отримує електрон, перетворюється в **негативний йон** (надлишок негативного заряду).

**Становлення атомно-молекулярного вчення про будову речовини.** Наукові погляди на внутрішню будову речовини розвивалися зусиллями багатьох поколінь учених. Давньогрецький філософ Левкіпп та його учень Демокріт вважали, що всі речовини у світі й сама людина складаються з дрібних частинок. За припущенням Демокріта ці частинки, названі ним атомами, є неподільними (від грецького *atomos* – неподільний). Стародавні вчені вважали, що в природі існує декілька видів атомів, з яких утворюються усі речовини.



Рис. 1.23. Демокріт  
(прибл. 460 – 370 рр. до н.е.) –  
давньогрецький мислитель,  
засновник атомістичного  
вчення



Рис. 1.24. Михайло  
Ломоносов  
(1711–1765) –  
російський  
учений-натураліст

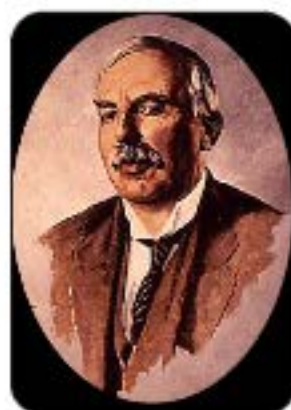


Рис. 1.25. Ернест  
Резерфорд  
(1871–1937) –  
англійський фізик

Атомно-молекулярне вчення про будову речовини розвивали видатні мислителі Середньовіччя французький філософ П. Гассенді (1592–1655) та англійський дослідник Р. Бойль (1627–1691). У XVIII ст. видатний російський учений М. В. Ломоносов (1711 – 1765) узагальнив тогочасні уявлення і запропонував науково обґрунтоване вчення про будову речовини, за яким речовини складалися з корпускул (частинок, молекул), що, в свою чергу, складаються з хімічних елементів (атомів).





кий ботанік Р. Броун отримав дослідне підтвердження руху молекул, вивчаючи під мікроскопом спори рослин у рідині.

На початку ХХ ст. Е. Резерфорд запропонував планетарну модель будови атома, яка з доповненнями та уточненнями використовується й до цього часу. За цією моделлю в центрі атома розміщується позитивно заряджене ядро, навколо якого обертаються електрони. За подібністю до будови Сонячної системи таку модель атома Е. Резерфорд назвав планетарною. Якщо атом втрачає електрони, він перетворюється в позитивний йон, а якщо отримує – в негативний. Ядро атома складається з протонів і нейтронів, які теж мають складну структуру.

Важливу роль у дослідженнях внутрішньої будови речовини відіграли експериментальні та теоретичні праці українських науковців, виконані в Українському фізико-технічному інституті (м. Харків). На початку 1930-х рр. фізики К. Д. Синельников, О. І. Лейпунський, А. К. Вальтер, Г. Д. Латишев здійснили другу в світі штучну реакцію з розщеплення ядер літію. Д. Д. Іваненко створив протонно-нейтронну модель ядра, а разом з І. Є. Таммом розробив обмінну теорію, яка дала можливість пояснити особливості будови ядра атома.

У другій половині минулого століття вчені виявили складну будову протона й нейтрона. Для сучасних досліджень внутрішньої будови речовини створюються спеціальні експериментальні установки, однією з яких є, наприклад, адронний колайдер в Швейцарії.



### Головне у цьому параграфі

Предмети й об'єкти, які оточують людину, називаються фізичними тілами. Речовиною у фізиці називають те, з чого складаються фізичні тіла. Вчені створюють речовини із заданими властивостями. Матеріальними є не тільки об'єкти, які людина сприймає за допомогою органів чуттів. Матерією є і електромагнітне поле, проявом якого є електромагнітне випромінювання, тобто, матерія існує у формі поля та у формі речовини.

Будь-яка речовина не є суцільною, вона складається з окремих частинок, які називають молекулами. Молекули однієї й тієї ж речовини є однаковими. Молекули складаються з частинок, які називаються атомами. В центрі атома розміщується позитивно заряджене ядро, навколо якого обертаються електрони. Така модель атома, запропонована, Е. Резерфордом, називається планетарною. Якщо атом втрачає електрони, він перетворюється в позитивний йон, а якщо отримує – в негативний. Ядро атома складається з протонів і нейтронів, які теж мають складну структуру.



1. Наведіть приклади фізичних тіл. З яких речовин складаються повітря, кулька, електричний дріт, мірний циліндр?
2. Що у фізиці означає термін «матерія»?
3. Наведіть приклади існування матеріальних об'єктів у формі речовини та у формі поля.
4. Які досліди підтверджують подільність речовини?
5. Що таке молекула? З яких дослідів видно, що між молекулами є проміжки?
6. З чого складаються молекули? Які атоми входять до складу молекули води?
7. Чому модель атома Е. Резерфорда називають планетарною? З чого складається атом? Атомне ядро?

### \* Завдання для допитливих

1. Знайдіть в довідковій літературі або мережі Інтернет значення лінійних розмірів атома водню та молекули кисню. Порівняйте їх.
2. Створіть модель молекули води (з використанням кольорового пластиліну або об'ємної графіки). Продемонструйте модель у класі.

## § 3. Фізичні величини та їх вимірювання

- Фізичні величини та їх одиниці. Міжнародна система одиниць
- Вимірювання фізичних величин

Кожна наука чи галузь знань починається з класифікації її понять. Поняття науки – це основа її мови, мислення й обміну думками. Основою кожного поняття є його істотні ознаки, які відображають суть даного об'єкта. У кожній науці існують поняття, пов'язані між собою залежностями й розділені за істотними ознаками.

Під час проведення дослідів у фізиці виконують спеціальні вимірювання. Для фізики, як науки експериментальної, вимірювання є невід'ємною складовою досліджень. Роль вимірювань у розвитку науки яскраво охарактеризував російський учений

Д. І. Менделєєв, який сказав: «Наука починається там, де починають вимірювати».





**Фізичні величини та їх одиниці. Міжнародна система одиниць.** Кожного дня ми спостерігаємо різноманітні фізичні тіла і взаємодіємо з ними. Розглядаючи фізичні тіла або явища, виділяють деякі особливості, спільні для них, або такі, що відрізняють їх від інших тіл і явищ. Ці особливості називають *фізичними властивостями*. Тримаючи в руках грудочку снігу, говорять, що вона холодна, а щойно зварена кава – гаряча. Виконне скло крихке і легко розбивається, алмаз же настільки твердий, що може надрізати скло. Яблуко маленьке у порівнянні із земною кулею, але величезне порівняно з молекулою води.

Такі порівняння дають наближений опис властивостей тіл. Для того, щоб отримати точні характеристики фізичних властивостей тіл і явищ, розглядають фізичні величини, які характеризують властивості фізичного тіла. Фізичними величинами є температура, об'єм, час, довжина, швидкість. Щоб установити залежність об'єму води або іншої рідини від температури, під час нагрівання рідини вимірюють одночасно об'єм і температуру.

**Фізична величина** – властивість, спільна в якісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному відношенні у кожного з них.

**Фізичну величину можна виміряти.** Для вимірювання довжини учнівського столу її порівнюють з іншою довжиною, яка прийнята за одиницю довжини, наприклад, з метром.

**Виміряти будь-яку величину** – означає порівняти її з однорідною величиною, прийнятою за одиницю цієї величини.

В результаті вимірювань фізичних величин отримують їх числове значення, виражене в прийнятих одиницях. Таким чином, *щоби виміряти фізичну величину, потрібно встановити одиницю, з якою її треба порівняти*. Для кожної фізичної величини прийняті свої одиниці. Лінійні розміри тіл, різноманітні відстані вимірюють у метрах. Одиницею довжини є **1 метр** (1 м). Одиницею площі є **1 квадратний метр** (1 м<sup>2</sup>), одиницею об'єму – **1 кубічний метр** (1 м<sup>3</sup>).

Для зручності різні країни намагаються використовувати для вимірювання одних і тих самих фізичних величин однакові одиниці. Обов'язковому застосуванню в Україні підлягають основні одиниці Міжнародної системи,





а також десяткові кратні та частинні від них одиниці. Міжнародна система одиниць (*System International unites*) з міжнародним скороченням назви **SI** (українською мовою — **СИ**) була прийнята та рекомендована Генеральною конференцією з мір і ваг у 1960 р.; на наступних конференціях неодноразово уточнювалась. СИ має низку переваг над системами, які існували раніше: вона універсальна, охоплює всі галузі науки, техніки, господарства тощо. Тому вона отримала визнання в багатьох країнах світу.

Основними величинами СИ є довжина, час, маса, сила електричного струму, термодинамічна температура, кількість речовини і сила світла.

Використовуються також позасистемні одиниці. Деякі з них використовуються завдяки зручності застосування в певних галузях, інші збереглися завдяки історичним традиціям. Відмова від них зараз неможлива у зв'язку з їх широким розповсюдженням. Часто доводиться мати справу з британськими одиницями (дюйм, фут, фунт, унція, барель тощо). Другу групу створюють давньоруські одиниці (пуд, вершок, сажень тощо).

Правила запису фізичних величин визначено Державним стандартом України.

Наприклад, короткий запис виразу «час руху автомобіля тридцять секунд» має вигляд  $t = 30$  с. У цьому виразі  $t$  – позначення часу (латинська літера), 30 – числове значення часу, літера «с» – позначення одиниці часу (секунди). Назви, символи, одиниці фізичних величин, що вивчаються у 7 класі, наведено на форзаці підручника.

**Символ (фізичної) величини** – умовний знак, прийнятий для позначення фізичних величин одного роду.

**Числове значення (фізичної) величини** – число, що дорівнює відношенню розміру фізичної величини, що вимірюється, до розміру одиниці фізичної величини чи кратної (часткової) одиниці.

**Позначення одиниці (фізичної) величини** – умовна аббревіатура з літер, складена з літер слів, які входять до назви одиниці, або спеціальні знаки.

Розрізняють векторні та скалярні фізичні величини. Щоб задати скалярну фізичну величину достатньо вказати лише числове значення, а щоб задати векторну фізичну величину необхідно вказати напрям і точку прикладання вектора. Наприклад, маса, довжина, об'єм – скалярні, а швидкість – векторна фізична величина.

Зі шкільного курсу математики вам відомо, що на практиці використовуються **кратні** десяткові одиниці, які в 10, 100, 1000 разів більші за прийняті одиниці. А також **частинні** одиниці, які, відповідно, в 10, 100, 1000 разів



менші прийнятих одиниць. Тому у фізиці використовують кратні та частинні одиниці фізичних величин. Наприклад, одиниці довжини, кратні одному метру (1 м), – це декаметр (10 м), кілометр (1000 м). Одиниці, частинні метру, – дециметр (0,1 м), сантиметр (0,01 м), міліметр (0,001 м). Множники, префікси та їхні позначення подано на форзаці підручника.

**Вимірювання фізичних величин.** Для вимірювання фізичних величин використовують спеціальні засоби вимірювання або вимірювальні прилади. Найпростішими приладами є лінійка та мірна стрічка, призначені для вимірювання довжини, а також мірні циліндри, якими вимірюють об'єми рідин (рис. 1.26). На практиці використовують і більш складні прилади, наприклад, секундомір для вимірювання часу, а також термометр для вимірювання температури (рис. 1.27).



Рис. 1.26. Прилади для вимірювання довжини та об'єму



Рис. 1.27. Прилади для вимірювання часу й температури

**Вимірювальний прилад** – засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірюваної інформації.

Для термометра та мензурки таким сигналом виступає рівень висоти стовпчика рідини, для годинника – положення стрілок тощо.

**Вимірювання** – відображення вимірюваних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Із розвитком науки й техніки вимірювальні прилади вдосконалювалися та ускладнювалися. Сучасна фізика для досліджень властивостей речовини використовує унікальні прилади, які встановлені, наприклад, на апаратах для вивчення морських глибин, космічних апаратах.

Спільною ознакою простих вимірювальних приладів є наявність шкали, яка утворюється нанесенням рисок і відповідних їм значень фізичних величин. Відстань між двома числовими позначками на шкалі приладу може додатково поділитися на поділки (рис. 1.28).





**Шкала (аналогового вимірювального приладу)** – частина показувального пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом із пов'язаною з нею певною послідовністю чисел.

Крім аналогових існують цифрові вимірювальні прилади, де інформація подається в готовому для сприймання вигляді на циферблаті.

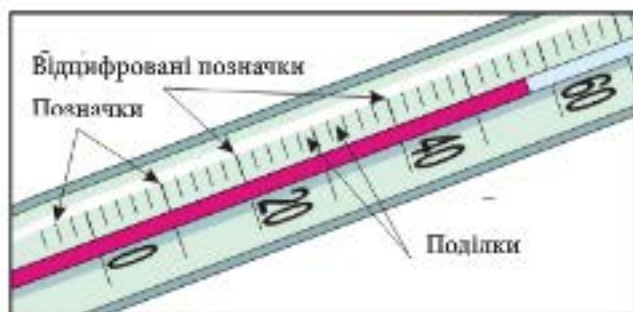


Рис. 1.28. Шкала вимірювального приладу

**Позначка шкали** – риска або інший знак на шкалі, що відповідають одному або декільком значенням вимірюваної величини.

**Поділка шкали** – частина шкали між двома сусідніми позначками шкали.

Перед тим, як виконують вимірювання фізичних величин будь-яким приладом, визначають ціну поділки його шкали, яку позначають  $C_V$ .

**Ціна поділки шкали аналогового вимірювального приладу** – різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

Визначити ціну поділки шкали вимірювального приладу можна таким чином:

- 1) звернути увагу на одиницю фізичної величини, вказану на приладі, відносно якої проградуєвано шкалу;
- 2) знайти на шкалі дві найближчих (сусідніх) позначки, біля яких вказано значення фізичної величини;
- 3) визначити кількість поділок між вибраними значеннями фізичної величини;





4) від більшого значення фізичної величини, вибраного на шкалі, відняти менше і розділити на кількість поділок між ними.



Рис. 1.29. Мірний циліндр

Для прикладу визначимо ціну поділки мірного циліндра (рис. 1.29). Одиницею вимірювання об'єму для мірного циліндра є мілілітр ( $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$ ), що вказано у верхній частині шкали приладу. Використаємо будь-які сусідні поділки, біля яких нанесено числові значення, наприклад, 200 і 250 мл. Відстань між цими значеннями нараховує десять поділок. Отже, ціна поділки шкали мірного циліндра дорівнює:

$$C_V = \frac{250 \text{ мл} - 200 \text{ мл}}{10} = \frac{50 \text{ мл}}{10} = 5 \text{ мл.}$$

Одиницею вимірювання довжини, що зазначено на мірній стрічці та лінійці (рис. 1.26), є сантиметр. Ціна поділки шкали цього вимірювального приладу дорівнює 0,1 см або 1 мм.

У фізиці розрізняють два типи вимірювань: прямі та непрямі.

**Пряме вимірювання** – вимірювання фізичної величини, значення якої знаходять безпосередньо за допомогою вимірювального приладу або інструменту.

**Непряме вимірювання** – вимірювання, в якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після обчислення за відомими залежностями їх від декількох величин, що вимірюються прямо.

Тобто прямими є вимірювання, якщо їх виконують безпосередньо тим чи іншим приладом, наприклад, довжину – лінійкою, час – секундоміром, температуру – термометром. Не завжди можливо прямо виміряти ту чи іншу величину. Тоді застосовують непрямі вимірювання. Прикладом непрямих вимірювань є вимірювання об'ємів тіл правильної форми, таких як куб, паралелепіпед. Прямо визначають лінійні розміри – довжину його ребер, а потім розраховують об'єм.



## Головне у цьому параграфі

Виміряти будь-яку величину – означає порівняти її з однорідною величиною, прийнятою за одиницю цієї величини. Щоби виміряти фізичну величину, потрібно встановити одиницю, з якою її треба порівняти. Згідно з Міжнародною системою одиниць довжина вимірюється метрами, час – секундами, маса – кілограмами. Одиницею довжини є **1 метр** (1 м), площі – **1 квадратний метр** (1 м<sup>2</sup>), об'єму – **1 кубічний метр** (1 м<sup>3</sup>), часу – **1 секунда** (1 с).

Ціною поділки шкали вимірювального приладу називають значення фізичної величини, що відповідає відстані між двома найближчими позначками.



## Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади фізичних величин. Які фізичні явища вони характеризують?
2. Наведіть приклади використання кратних і частинних одиниць фізичних величин.
3. Назвіть вимірювальні прилади, які ви знаєте.
4. Що таке шкала вимірювального приладу?
5. На прикладі поясніть, як визначити ціну шкали вимірювального приладу.
6. Що таке прямі та непрямі вимірювання? Поясніть на прикладі.

### Вправа 2

1. Доберіть одиниці фізичних величин, які не входять до Міжнародної системи, але використовуються на виробництві та в побуті (наприклад, довжини та маси).
2. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів, які є у вас вдома (медичний термометр, кімнатний термометр, настінний годинник). Запишіть показання термометрів і час (години та хвилини), коли проводили вимірювання.
3. Повторіть і запишіть співвідношення між одиницями довжини, площі та об'єму.



Назва приладу	Вимірювана фізична величина	Ціна поділки шкали приладу	Значення фізичної величини
Медичний термометр			
Кімнатний термометр			
Настінний годинник			

#### § 4. Точність вимірювань. Запис великих і малих чисел

- *Похибки й оцінювання точності вимірювань*
- *Стандартний запис числа*

**Похибки й оцінювання точності вимірювань.** Одні й ті самі фізичні величини можна вимірювати різними приладами. Наприклад, довжину бруска можна виміряти двома лінійками (рис. 1.30). Довжина бруска, виміряна першою лінійкою, становить приблизно 5 см (рис. 1.30, а). За шкалою другої лінійки видно, що довжина бруска становить 4,9 см (рис. 1.30, б). Очевидно, що вимірювання другою лінійкою виконано більш точно.

Ціна поділки шкали першої лінійки дорівнює  $\frac{2\text{ см} - 1\text{ см}}{2} = \frac{1\text{ см}}{2} = 0,5\text{ см}$ .

Ціна поділки шкали другої лінійки  $\frac{2\text{ см} - 1\text{ см}}{10} = \frac{1\text{ см}}{10} = 0,1\text{ см}$ .

Кажуть, що вимірювання першою лінійкою виконані з точністю до 0,5 см, а другою – до 0,1 см.

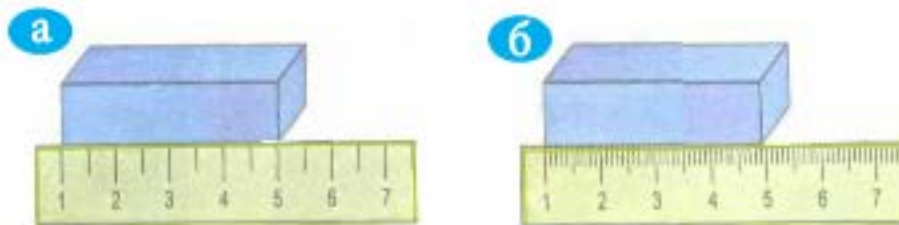


Рис. 1.30. Вимірювання довжини бруска лінійками, шкали яких мають різну ціну поділки





Ще точніший результат можна отримати, якщо взяти вимірювальний прилад з меншою ціною поділки (наприклад, 0,001 см).

Таким чином, будь-яку фізичну величину не можна виміряти абсолютно точно (знайти її істинне значення). У процесі вимірювань виникають неточності, зумовлені різними причинами (особливостями будови приладу та градування його шкали, методикою проведення вимірювань, індивідуальними особливостями людини, яка вимірює, наприклад, вадами зору).

Такі неточності називають похибками. Похибки визначають спеціальними методами і враховують при записі результату вимірювань. **Для простих вимірювальних приладів (лінійка, мірна стрічка, мірний циліндр, секундомір) найбільша похибка правильно виконаного вимірювання становить половину ціни найменшої поділки.** Цю похибку ще називають абсолютною похибкою засобу вимірювань й при її записі перед позначенням фізичної величини ставлять велику грецьку літеру  $\Delta$  (дельта).

**Абсолютна похибка засобу вимірювань – різниця між показом засобу вимірювань та істинним значенням вимірювальної величини за відсутності похибок проведення вимірювання.**

Якщо позначити через  $l$  істинне значення довжини бруса,  $l_v$  – результат вимірювання, то значення величини, одержане в результаті вимірювання записують у вигляді:

$$l = l_v \pm \Delta l.$$

Коли значення величини з урахуванням похибки, її числове значення разом з абсолютною похибкою слід брати у дужки, а позначення одиниці розташовувати після дужок. Якщо ж дужки не застосовуються, то слід розташовувати позначення одиниці як після числового значення виміряної величини, так і після числового значення абсолютної похибки.

Наприклад, для першого вимірювання довжини бруса

абсолютна похибка довжини  $\Delta l = \frac{0,5 \text{ см}}{2} = 0,25 \text{ см}$ , а кінцевий результат

вимірювань записують  $l = (5,0 \pm 0,25) \text{ см}$ , або  $l = 5,0 \text{ см} \pm 0,25 \text{ см}$ .

Істинне значення довжини бруса при цьому вимірюванні є в інтервалі від 4,75 см до 5,25 см.

Для другого  $\Delta l = \frac{0,1 \text{ см}}{2} = 0,05 \text{ см}$  й відповідно  $l = (5,0 \pm 0,05) \text{ см}$ ,

або  $l = 5,0 \text{ см} \pm 0,05 \text{ см}$ . Істинне значення при другому вимірюванні



знаходиться в інтервалі від 4,85 см до 4,95 см. При другому вимірюванні інтервал можливих значень довжин менший (0,1 см, на відміну від 0,5 см для першого вимірювання). Друге вимірювання виконано з меншою абсолютною похибкою і є більш точним.

Під час виконання лабораторних робіт потрібно враховувати ціну поділки шкали вимірювального приладу. Доцільно записувати кінцевий результат з урахуванням абсолютної поділки, яка визначає інтервал, в якому є істинне значення вимірюваної фізичної величини.

Похибку вимірювання можна виразити у відсотках відносно числового значення вимірюваної величини. Для цього потрібно визначити відношення абсолютної похибки до вимірюваної величини і знайдене число помножити на 100 %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$$

**Відносна похибка вимірювання** – відношення абсолютної похибки до умовно істинного значення вимірюваної величини.

Для першого вимірювання відносна похибка вимірювань

$$\varepsilon = \frac{0,25 \text{ см}}{5 \text{ см}} \cdot 100\% = 5\%, \text{ а для другого } \varepsilon = \frac{0,05 \text{ см}}{5 \text{ см}} \cdot 100\% = 1\%.$$

Для більш точного визначення фізичної величини вимірювання виконують кілька разів (3-5) і знаходять середнє значення вимірюваної величини за формулою:

$$a_c = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

де  $a_c$  – обчислене середнє значення величини;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – значення окремих вимірювань;  $n$  – число вимірювань.

**Стандартний запис числа.** У процесі вимірювання фізичні величини виражають числами. Значення вимірюваних величин можуть значно відрізнятися між собою і виражатися відповідно дуже малими або дуже великими числами. Наприклад, відстань від Землі до Сонця дорівнює 150 000 000 км, швидкість поширення світла 300 000 км/с або 300 000 000 м/с. Поряд з цим при вивченні будови речовини користуються дуже малими величинами. Так, розмір молекули водню дорівнює 0,000000023 см. Або ще приклад: розміри різних тіл лежать у межах від розмірів атомів до розмірів спостережуваної частини Всесвіту й відрізняються (важко уявити!) в 1000 000 000 000 000... разів! (треба написати 60 нулів після «1»!)





Постає питання: як краще записувати відносно малі та відносно великі числа, щоб їх легко було зчитувати, оперувати ними – додавати, віднімати, множити, ділити.

Найзручніший спосіб скорочення запису великих і малих чисел – використання множника 10 у відповідному степені. Наприклад, число 5000 можна записати як  $5 \cdot 10^3$ . Степінь десяти (в даному випадку «3») показує, скільки нулів треба приписати праворуч, за першим співмножником (у даному випадку «5»), щоб одержати дане число. Таку операцію називають записом числа в стандартному вигляді. Отже, число подають у вигляді двох співмножників: перший – число з однією значущою цифрою перед комою, другий – число 10 у відповідному степені.

Наприклад, швидкість світла 300 000 км/с можна записати як  $3 \cdot 10^5$  км/с або  $3 \cdot 10^8$  м/с. Якщо число має не одну значущу цифру, а більше, то й тоді його теж можна записати у стандартному вигляді. Наприклад, відстань від Землі до Сонця 150 000 000 км можна записати як  $1,5 \cdot 10^8$  км =  $1,5 \cdot 10^{11}$  м. Щоб записати це число у розгорнутому вигляді (не вводячи  $10^{11}$ ), треба кому пересунути праворуч відповідно на 11 знаків.

Ще приклад: записати число 37 400 у стандартному вигляді:  $37\,400 = 3,74 \cdot 10^4$ . Як бачите, відразу після першої значущої цифри (3) ставлять кому, інші значущі цифри (7 і 4) записують після коми, степінь десяти (4) визначає кількість цифр після першої значущої цифри (3), включаючи значущі цифри (7 і 4) і нулі.

При розгортанні числа зі стандартного запису до звичайного, наприклад  $5,6 \cdot 10^5$ , відраховують цифри у кількості 5 (показник степеня 10) відразу після коми, спочатку записують значущі цифри 6 та 1, а цифри, яких не вистає, замінюють нулями: 561000.

У всіх розглянутих випадках показник степеня, що є натуральним числом, показує скільки разів треба помножити число 10 само на себе, щоб одержати шукане число:

$$10^n = \underbrace{10 \cdot 10 \cdot 10 \dots 10}_n$$

Наприклад,  $10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000$ ;  $10^6 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1\,000\,000$  тощо.

### Арифметичні дії з числами, вираженими у стандартному вигляді.

Зі степенями числа 10, коли показником є натуральне число, можна виконувати арифметичні дії множення та ділення:

$$10^m \cdot 10^n = 10^{m+n};$$

$$10^m : 10^n = 10^{m-n} \quad (\text{при } m > n).$$

Як записувати у стандартному вигляді малі та дуже малі числа? Можна скористатися тим, що десяткові дробі типу 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001 можна





записати у вигляді степеня числа 10, показником якого є від'ємне ціле число. Для цього користуються такими записами:

$$0,1 = \frac{1}{10^1} = 10^{-1}; \quad 0,01 = \frac{1}{10^2} = 10^{-2}; \quad 0,001 = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \quad \text{тощо.}$$

Аналогічно розмір молекули водню можна записати так:

$$0,000000023 \text{ cm} = \frac{23 \text{ cm}}{10^9} = \frac{2,3 \text{ cm}}{10^8} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

Щоб записати це число, не вводячи степінь  $10^{-8}$ , слід кому перенести на 8 знаків ліворуч, починаючи рахунок цифр з першої цифри (2). Зверніть увагу: у випадку малих чисел нулі треба ставити не праворуч (як у випадку великих чисел), а ліворуч від значущої цифри.

Ще приклади: записати у стандартному вигляді:

а) діаметр червоних кров'яних тілець (еритроцитів), що входять до складу крові:

$$0,0000075 \text{ M} = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ M} = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$$

б) масу вірусу грипу:

$$0,00000000000000000006 \text{ кг} = 6,0 \cdot 10^{-19} \text{ кг}$$

Схематично і наочно правило відрахунку цифр після коми показано на рис. 1.31.

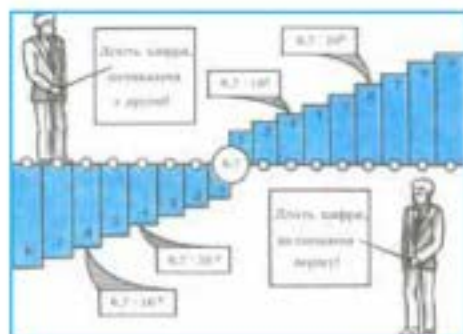


Рис. 1.31. Запис великих та малих чисел

Підіб'ємо деякі підсумки стосовно запису великих і малих чисел у стандартному вигляді. Під стандартним виглядом запису числа розуміють запис виду  $x = a \cdot 10^n$ , де  $x$  – число, яке записують у стандартному вигляді,  $1 \leq a < 10$ ,  $n$  – довільне число (додатне, від'ємне або нуль). При цьому розуміють, що  $10^0 = 1$ .

Використання від'ємного та нульового показників степеня дає змогу узагальнити (поширити) правила множення і ділення степенів числа 10, а саме:  $10^m \cdot 10^n = 10^{m+n}$ ;  $10^m : 10^n = 10^{m-n}$  для будь-яких цілих показників степенів  $m$  і  $n$ .



Це дає змогу сформулювати правила множення і ділення значень фізичних величин, записаних у стандартному вигляді: нехай  $x = a \cdot 10^m$ ;  $y = b \cdot 10^n$ ; тоді  $xy = ab \cdot 10^{m+n}$ ;  $\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{m-n}$ .

У фізиці та астрономії саме так записують значення багатьох фізичних величин. Це не тільки зручніше, а й допомагає краще оцінювати точність вимірювань.



### Головне у цьому параграфі

Для простих вимірювальних приладів найбільша похибка правильно виконаного вимірювання становить половину ціни найменшої поділки.

Коли зазначається значення величини з урахуванням похибки, її числове значення разом з абсолютною похибкою слід брати у дужки, а позначення одиниці розташовувати після дужок. Якщо ж дужки не застосовуються, то слід розташовувати позначення одиниці як після значення числового значення виміряної величини, так і після числового значення абсолютної похибки.

Під стандартним виглядом запису числа розуміють запис виду  $x = a \cdot 10^n$ , де  $x$  – число, яке записують у стандартному вигляді,  $1 \leq a < 10$ , а  $n$  – довільне число (додатне, від'ємне або нуль). При цьому розуміють, що  $10^0 = 1$ .

Правила множення і ділення значень фізичних величин, записаних у стандартному вигляді: нехай  $x = a \cdot 10^m$ ;  $y = b \cdot 10^n$ ; тоді  $xy = ab \cdot 10^{m+n}$ ;

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{m-n}.$$



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке точність фізичних вимірювань?
2. Як пов'язана точність вимірювань з ціною поділки шкали вимірювального приладу?
3. Що таке стандартний запис числа? Наведіть приклади.
4. Як помножити два числа, записані у стандартному вигляді?

#### Вправа 3

1. Запишіть у стандартному вигляді такі числа: 2800, 146200000; 0,0347; 0,0000000094.
2. Довжина стола 80 см. Запишіть це число в міліметрах, метрах, дециметрах у стандартному вигляді.
3. Доба має 24 год. Визначте число секунд у добі та запишіть це число у стандартному вигляді з точністю до трьох значущих цифр.





## § 5. Фізика – теоретична основа техніки

Фізика є основою сучасних наукових і виробничих технологій. Відкриття фізичної науки стали основою для створення сучасного обладнання для наукових досліджень, різноманітної побутової техніки, засобів зв'язку та телекомунікацій.

- **Історичний характер фізичного знання. Творці фізичної науки**
- **Фізика в дослідженні природи**
- **Фізика – основа техніки**

**Історичний характер фізичного знання. Творці фізичної науки.** Сучасна наука базується на експериментально здобутих даних та фундаментальних узагальненнях, що займають провідне місце у системі науково-природничих знань, опираються на досвід мислителів та дослідників попередніх епох. Але фізична наука – це не просто сукупність, підсумок всього, що зроблено вченими на сьогоднішній день. Не просто комплекс відомих фактів, законів, теорій. Фізика постійно розвивається, критикуючи, руйнуючи та створюючи, постійно відкриває нові закони й теорії.

Перші фізичні ідеї зародилися ще в Стародавній Греції. Припущення про те, що всі тіла складаються з найдрібніших частинок, висловив грецький філософ Демокріт, який жив у V ст. до н. е. Вважається, що становлення сучасної фізики розпочалося в XVII ст. з формулювання видатним англійським ученим І. Ньютоном основних рівнянь механіки, а у XIX ст. англійським вченим Д. Максвеллом – основних рівнянь електромагнетизму. На початку XX ст. німецький фізик А. Ейнштейн переформулював основні рівняння механіки так, щоб їх можна було застосовувати до вивчення рухів з швидкостями, близькими до швидкості світла, та заклав основи теорії гравітації (всесвітнього тяжіння). Розвиток науки у цей період учений охарактеризував таким чином: «Ніколи ще прагнення до пізнання істини не було таким сильним, як зараз, і доки воно буде існувати, можна дивитися в майбутнє з надією».

Фізика є наукою інтернаціональною, оскільки створювалася вона зусиллями представників різних народів. Важливу роль у становленні фізичного знання відіграли вітчизняні фізики, а також вчені інших країн, які жили та працювали в Україні. Важливе значення для становлення та розвитку фізичної науки в Україні мало створення Всеукраїнської академії наук у листопаді 1918 року. Першим її президентом став академік В. І. Вернадський, ім'я яко-





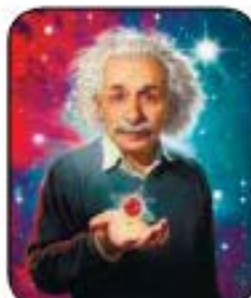
го сьогодні носить Національна бібліотека України. Одним з перших дійсних членів академії став С. П. Тимошенко, засновник Інституту теоретичної механіки, який носить його ім'я. Всесвітню славу вчений отримав за фундаментальні дослідження проблем міцності матеріалів, праці з теоретичної та прикладної механіки.



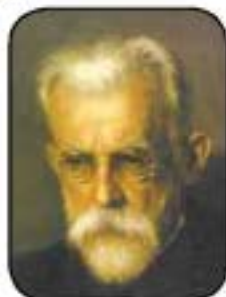
**Ісаак Ньютон** (1643-1727) – видатний англійський учений, який заклав основи сучасного природознавства, творець класичної фізики



**Джеймс Клерк Максвелл** (1831-1879) – шотландський вчений, який створив теорію електромагнітного поля



**Альберт Ейнштейн** (1879-1955) – один з найвизначніших фізиків XX століття, лауреат Нобелівської премії з фізики 1921 року



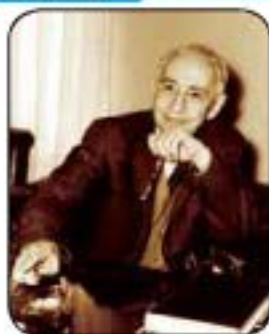
**Володимир Іванович Вернадський** (1863-1945) – український мислитель, природознавець. Один із засновників української Академії наук та її перший президент (з 1919). Засновник першої наукової бібліотеки в Україні (нині носить його ім'я)



**Степан Прокопович Тимошенко** (1878-1972) – вітчизняний всесвітньо відомий вчений у галузі механіки. Основположник теорії міцності матеріалів, теорії пружності та коливань. Один із організаторів і перших академіків Української академії наук



**Олександр Ілліч Лейбунський** (1903-1972) – видатний український вчений-фізик. Дійсний член АН УРСР (1934), директор Інституту фізики АН УРСР. Здійснив розщеплення атомного ядра штучно прискореними частинками (1932)



**Кирило Дмитрович Синельников** (1901-1966) – український фізик, дійсний член АН УРСР, директор Українського фізико-технічного інституту в Харкові, творець вітчизняної школи фізиків-ядерників



**Лев Васильович Шубников** (1901-1937) – український вчений в галузі фізики низьких температур. У 1930 році відкрив першу в країні лабораторію низьких температур в Харкові



**Іван Павлович Пулюй** (1845-1918) – український фізик і електротехнік, винахідник, перекладач, організатор науки, громадський діяч. Ректор першого в Європі електротехнічного інституту

Світове визнання отримали наукові розробки Харківського фізико-технічного інституту, який став піонером ядерних досліджень не тільки в Україні, а й у світі. Тут зробили свої відкриття видатні фізики О. І. Ахієзер, Л. Д. Ландау, О. І. Лейпунський, К. Д. Синельников, В. І. Обреїмов, Л. В. Шубников. В інституті працювали А. Ф. Йоффе, Н. Бор.

Серед учених українського походження, які працювали за кордоном, особливе місце належить І. П. Пулюю, який виконав фундаментальні дослідження в галузі електродинаміки та електротехніки. Фізик зробив вагомий внесок у дослідження рентгенівського випромінювання. Він отримав перші високоякісні рентгенограми. За вагомий науковий доробок ім'я вченого увіковічено в Австрії та Чехії, де він працював упродовж багатьох років. Наш співвітчизник О. Т. Смакула винайшов технологію просвітлення оптики, яка використовується при виробництві оптичних приладів. Спеціальна прозора плівка на поверхні об'єктива значно покращує його оптичні властивості.

Розвиток світової авіації став можливим завдяки наполегливій праці українських авіаконструкторів Ф. Ф. Андерса, І. І. Сікорського, винахідника гелікоптера, О. К. Антонова, талановитого інженера, в конструкторському бюро якого створені найпотужніші в світі літаки «Руслан» (вантажопідйомність до 150 т) та «Мрія» (вантажопідйомність до 240 т).





**Олександр Тео-  
дорович Смакула**  
(1900-1983) – україн-  
ський фізик, відомий  
винаходом антиреф-  
лексійного покриття  
лінз оптичних при-  
ладів



**Ігор Іванович**  
**Сікорський** (1889-  
1972) – інженер,  
авіаконструктор та  
організатор промис-  
лового виробництва  
першого гелікоптера



**Олег Костянтинович**  
**Антонов** (1906-1984) –  
український авіаконструк-  
тор. В його конструкторському бюро створено  
найпотужніші в світі па-  
сажирські та транспорт-  
ні літаки

Під керівництвом академіка С. П. Корольова були здійснені запуск першого штучного супутника Землі у жовтні 1957 року та політ першого космонавта Ю. О. Гагаріна в космос у квітні 1961 року. «Зоряна траса» (схема польоту до планет Сонячної системи) українського дослідника – піонера космонавтики Ю. В. Кондратюка була реалізована під час польоту американських астронавтів на Місяць у 1969 році.

У конструкторському бюро «Південне» (м. Дніпропетровськ) під керівництвом В. Н. Челомея та М. К. Янгеля створювалися ракетноносії, які виводили на орбіти космічні кораблі та міжпланетні станції. Ракети «Зеніт» українського виробництва сьогодні використовуються в багатьох країнах світу для запуску космічних апаратів.

Сьогодні важливу роль у розвитку фізики в Україні відіграє Національна академія наук та її науково-дослідні установи: Інститут електродинаміки, Інститут електрозварювання, Інститут магнетизму, Інститут механіки, Інститут прикладної оптики, Інститут радіофізики та електроніки, Інститут металофізики, Інститут теоретичної фізики, Інститут фізики, Інститут фізики напівпровідників, Інститут ядерних досліджень та ін. Упродовж півстоліття академію очолює видатний вчений Б. Є. Патон. Під його керівництвом були продовжені дослідження проблеми електрозварювання, започатковані М. М. Бенардосом та Є. О. Патonom. В Інституті





електрозварювання розроблено унікальні технології електрозварювання в різних середовищах – від морських глибин до відкритого космосу, які використовуються різними країнами.



**Юрій Васильович Кондратюк (1897-1941)**

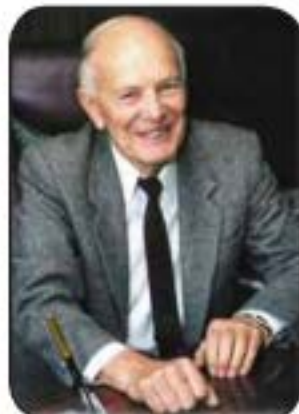
український дослідник, піонер ракетної техніки і теорії космічних польотів. Автор так званої «Зоряної траси», за якою здійснили політ на Місяць космічні кораблі «Аполлон»



**Сергій Павлович Корольов (1907-1966)**

– видатний учений і конструктор ракетної техніки.

Під його керівництвом створені і виведені на навколоземну орбіту космічні апарати декількох поколінь



**Борис Євгенович Патон (народився в 1918 р.)**

– видатний український учений у галузі зварювання, металургії і технології металів. Президент Національної академії наук України з 1962 року

**Фізика в дослідженні природи.** Важливою особливістю фізики як фундаментальної природничої науки є те, що вона не лише здобуває та узагальнює знання про природу, а й розробляє наукові методи і створює прилади для пізнання явищ оточуючого світу.

За допомогою сучасного обладнання досліджуються морські глибини (рис. 1.32). На навколоземній орбіті працює надпотужний телескоп Габбла, який вивчає таємниці далекого Всесвіту і робить унікальні відкриття в царині астрофізики (рис. 1.33). За допомогою електронних мікроскопів учені можуть «побачити» атом (рис. 1.34). Сучасні наукові дані про будову речовини вчені-фізики отримують, проводячи фізичні експерименти на адронному колайдері, в якому досліджується взаємодія мікрочастинок (рис. 1.35).



Рис. 1.32. Для дослідження морських глибин використовують спеціальні апарати



Рис. 1.33. Космічний телескоп ім. Е. Габбла збагачує науку унікальними фізичними відкриттями



Рис. 1.34. Сучасний електронний мікроскоп



Рис. 1.35. Адронний колайдер – унікальний науковий прилад для вивчення внутрішньої будови речовини



Рис. 1.36. Український літак АН-225 «Мрія» найпотужніший авіалайнер у світі



Рис. 1.37. Ракети-носії «Зеніт», створені в конструкторському бюро «Південне» (м. Дніпропетровськ)

**Фізика – основа техніки.** Сучасні виробничі технології значною мірою створені завдяки фундаментальним відкриттям, зробленим у фізиці. З кожним роком зростає споживання людством електричної енергії. Фізичні основи механіки стали основою для створення сучасної автомобільної, повітряної та морської техніки. Щоби спроектувати та побудувати авіалайнер (рис. 1.36) і корабель, потрібно було ретельно дослідити закони аеро- та гідродинаміки, умов плавання тіл. Потужні ракети-носії (рис. 1.37) виводять на орбіти штучні супутники Землі, які забезпечують функціонування сучасних систем зв'язку. Реактивні двигуни (рис. 1.38) для космічної техніки створювалися декількома поколіннями дослідників. Практичне використання ракетної техніки стало можливим після відкриття законів збереження та вивчення реактивного руху.





Відкриття законів електромагнетизму склали основу технічного виробництва електроенергії. Були створені потужні теплові, гідро-, вітро-, припливні (рис. 1.39), атомні електростанції.



Рис. 1.38. Реактивні двигуни конструкції українського вченого В. П. Глушка



Рис. 1.39. Перша в світі припливна електростанція на річці Ранс (Франція)

Побут людини в ХХІ ст. не уявляється без технічних пристроїв-помічників. Мобільні телефони стали настільки ж звичними, як радіоприймачі або бездротовий телеграф. Та всі ці пристрої працюють згідно з принципом радіозв'язку, відкритим фізиками понад століття тому. Телевізори, пральні машини, мікрохвильові печі, електроплити, електрочайники, холодильники, праски, кондиціонери працюють в оселі людини (рис. 1.40).

Відкриття особливих речовин – напівпровідників і вивчення їх фізичних властивостей дало можливість створити мікропроцесори, які стали основою комп'ютерної техніки. Комп'ютери керують кліматичними системами в приміщеннях, допомагають навчатися та створювати твори музичного й образотворчого мистецтва (рис. 1.41).

Із розвитком фізики людство пов'язує не тільки подальший науково-технічний прогрес, а й вирішення глобальних екологічних проблем, які дадуть можливість створити природо- та здоров'язбережувальні технології, забезпечать органічне існування людини в природному середовищі. Так, створення саркофагу (накриття) на Чорнобильській атомній станції, яка у 1986 році зазнала аварії, здійснюється з урахуванням відповідних механічних, електромагнітних, радіаційних властивостей конструкційних матеріалів (рис. 1.42).





Рис. 1.40. Сучасна побутова техніка створена завдяки досягненням фізики



Рис. 1.41. Сучасний комп'ютер допомагає у наукових дослідженнях, виробництві, навчанні



Рис. 1.42. Сучасна фізика спрямовує свої зусилля на вирішення екологічних проблем



### Головне у цьому параграфі

**Фізичне знання має історичний характер.** Сучасна наука опирається на досвід мислителів і дослідників попередніх епох. Сучасна фізична наука – це не просто сукупність знань, відомих фактів, законів, теорій. Фізика постійно розвивається, постійно відкриває нові закони.

**Фізика – наука інтернаціональна,** оскільки створювалася вона зусиллями представників різних народів. Важливу роль у становленні фізичного знання відіграли вітчизняні фізики, а також учені інших країн, які жили та працювали в Україні.

**Фізика є основою сучасних наукових і виробничих технологій.** Створення різноманітних машин і механізмів стало можливим завдяки відкриттям фізики, які встановили основні закономірності протікання механічних, теплових, електричних і магнітних, світлових явищ. Сучасна фізика створює унікальні засоби дослідження природи. Провідна роль фізики у майбутньому людства пов'язується з вирішенням глобальних екологічних проблем та розробленням енерго- та здоров'язбережувальних технологій.



### Запитання для самоперевірки

1. У чому виявляється історичний характер фізичного знання?
2. Чому фізика є інтернаціональною наукою?
3. В які галузі науки українські вчені зробили найбільш вагомий внесок?
4. Чому фізику вважають основою техніки?
5. Яким чином розвиток техніки пов'язаний із розвитком наук про природу?



6. Наведіть приклади устаткування для дослідження природних явищ.
  7. Наведіть приклади механізмів і машин, які працюють на виробництві.
  8. Наведіть приклади побутових пристроїв, які ви використовуєте вдома.
- Чи можна було б їх сконструювати без знання фізики? Обґрунтуйте чому.


### \* Завдання для допитливих


1. Використовуючи науково-довідкову літературу та ресурси Інтернету, підготуйте повідомлення про видатних учених – вихідців із вашого села, міста, району, області.
2. Використовуючи довідкові бібліотечні та інтернет-ресурси, визначте найбільш важливі напрями розвитку техніки та наукових досліджень, в яких провідну роль відіграватиме сучасна фізика.





### Найголовніше у розділі 1


 **Фізика** – це наука про найбільш загальні й фундаментальні закономірності матеріального світу.

 Основними джерелами фізичних знань є спостереження та досліді. Наукові експерименти дають змогу відкривати фізичні закони. **Фізичний закон** – це опис співвідношень у природі, який проявляється за певних умов у експерименті (досліді). Завдяки загальності та фундаментальності фізичні закони використовуються в усіх природничих науках.

 **Предмети і об'єкти, які оточують людину, називаються фізичними тілами.** Речовиною у фізиці називають те, з чого складаються фізичні тіла. Матеріальними є не тільки об'єкти, які людина сприймає за допомогою органів чуттів, а й електромагнітне поле, проявом якого є електромагнітне випромінювання. Тобто матерія існує у формі поля та у формі речовини.

 Будь-яка речовина не є суцільною, вона складається з окремих частинок, які називають молекулами. Молекули, у свою чергу, складаються з частинок, які називаються атомами. Якщо атом втрачає електрони, він перетворюється в позитивний йон, а якщо отримує – в негативний. Ядро атома складається з протонів і нейтронів, які теж мають складну структуру.

 Обов'язковому застосуванню в Україні підлягають основні одиниці Міжнародної системи, а також десяткові кратні та частинні від них одиниці.

 **Виміряти будь-яку величину** – означає порівняти її з однорідною величиною, прийнятою за одиницю цієї величини. Для простих вимірю



вальних приладів найбільша похибка правильно виконаного вимірювання становить половину ціни найменшої поділки.

Під стандартним виглядом запису числа розуміють запис виду  $x = a \cdot 10^n$ , де  $x$  – число, яке записують у стандартному вигляді,  $1 \leq a < 10$ , а  $n$  – довільне число (додатне, від'ємне або нуль). При цьому розуміють, що  $10^0 = 1$ .

**Правила множення і ділення значень фізичних величин**, записаних у стандартному вигляді: нехай  $x = a \cdot 10^m$ ;  $y = b \cdot 10^n$ ; тоді  $xy = ab \cdot 10^{m+n}$ ;

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{m-n}$$

**Фізичне знання має історичний характер.** Сучасна наука опирається на досвід мислителів і дослідників попередніх епох. Фізика постійно розвивається, постійно відкриває нові закони. Фізика – наука інтернаціональна. Важливу роль у становленні фізичного знання відіграли вітчизняні фізики, а також учені інших країн, які жили та працювали в Україні.

**Фізика є основою сучасних наукових та виробничих технологій.** Сучасна фізика створює унікальні засоби дослідження природи. Провідна роль фізики у майбутньому людства пов'язується з вирішенням глобальних екологічних проблем та розробленням енерго- та здоров'язбережувальних технологій.

## Завдання для самоперевірки з розділу

### «Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання»

**1(п).** Серед зазначених наук виберіть ті, які є фундаментальними науками про природу:

- А) фізика, біологія, хімія;
- Б) мистецтвознавство, культурологія, історія;
- В) філософія, етика, естетика;
- Г) суспільствознавство, література, мовознавство.

**2(п).** Виберіть методи дослідження, які є основними методами та джерелами знань про природу у фізиці:

- А) аналіз і синтез;
- Б) порівняння і класифікації;





- В) узагальнення і систематизації;  
Г) спостереження та експеримент.

**3(и).** Вкажіть, в яких одиницях вимірюється довжина:

- А) метр;  
Б) кілограм;  
В) секунд;  
Г) градус Цельсія.

**4(с).** Вкажіть, в якому вигляді записується кінцевий результат вимірювання довжини фізичного тіла:

- А)  $l = l_{\text{н}} + \Delta l$  ;  
Б)  $l = l_{\text{н}} - \Delta l$  ;  
В)  $l = l_{\text{н}} \pm \Delta l$  ;  
Г)  $l = l_{\text{н}}$  .

**5(и).** Установіть відповідність між назвами одиниць фізичних величин і фізичними величинами, для вимірювання яких вони використовуються:

1) довжина	А) секунда
2) об'єм	Б) градус Цельсія
3) час	В) кілограм
4) маса	Г) метр
	Д) метр кубічний

**6(и).** Установіть відповідність між прізвищами вітчизняних учених та їх винаходами:

1) Ю.В. Кондратюк	А) технологія електрозварювання
2) І.І. Сікорський	Б) гелікоптер
3) І.П. Пулюй	В) принцип польоту до космічних тіл
4) Є.О. Патон	Г) перші високоякісні рентгенограми
	Д) електромобіль



## Розділ 2.

## МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Тривалі спостереження за навколишнім світом показали, що матерія постійно рухається. Будь-яка зміна, що відбувається в природі, є рухом матерії.

Найпростішим, наочним і доступним для дослідження, є механічний рух. Механічний рух найпоширеніший у природі, він є складовою складніших немеханічних процесів. Тому вивчення механічного руху є важливим етапом у вивченні фізики.

Вивчаючи цей розділ, ви ознайомитеся з різними видами механічного руху, навчитесь досліджувати і характеризувати рух, використовуючи специфічні фізичні величини.

### § 6. Механічний рух

Щоби зрозуміти оточуючий нас світ – необхідно в першу чергу дослідити рух.

- **Що називають механічним рухом?**
- **Система відліку**
- **Відносність руху**

**Що називають механічним рухом?** Все в оточуючому нас світі рухається. Рухаємось ми. Рухаються звірі й птахи, риби й комахи. Рухаються планети й зорі. Тече вода в річках і кров по кровоносних судинах. Вітер жене хмари і гойдає дерева. Падають краплини дощу й закручуються у вихорі сніжинки. Рухаються створені людиною машини, обертаються лопаті турбіни і колеса автомобіля, рухаються електрони в лініях електропередач і сигнали мобільного зв'язку. Рухаються атоми й молекули, з яких складаються тіла. Найбільш знайомим, наочним і доступним для дослідження є механічний рух. Механічний рух є найбільш поширеним у природі, до того ж він є складовою більш складних немеханічних процесів.

**Механічний рух** – це зміна з часом взаємного положення тіл або їх частин у просторі.

Наука, яка вивчає механічний рух матеріальних тіл та взаємодії, які при цьому відбувається називається **механікою**.



**Система відліку.** Основною ознакою механічного руху тіла є те, що воно змінює своє положення. Щоб фіксувати зміну положення тіла у просторі необхідно встановити *відносно чого* відбувається саме ця зміна.

Наприклад, автомобіль їде по дорозі. Положення автомобіля змінюється відносно дерев, будинків, що стоять уздовж дороги. В цьому випадку дерево чи будинок можна прийняти за *тіло відліку*, відносно якого розглядається рух автомобіля. Тілом відліку може бути й інший автомобіль, що їде по дорозі. Тіло відліку обирають довільно. Зазвичай, за тіло відліку беруть тіло, яке нерухомо пов'язане з землею (будинок, дерево, залізничні колії, причал тощо), або саму землю.

**Тіло, відносно якого визначається положення даного тіла, називають тілом відліку.**

Для опису механічного руху тіла обрати тільки тіло відліку недостатньо. Ще необхідно фіксувати як саме змінюється його положення відносно обраного тіла відліку. Для цього вибирають систему координат та засоби вимірювання часу, наприклад, годинник (рис. 2.1).

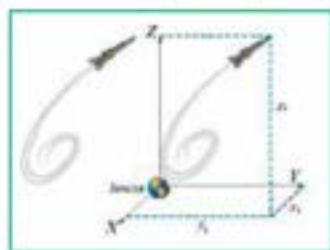


Рис. 2.1. Дослідити рух літака можна в системі, пов'язаній із землею

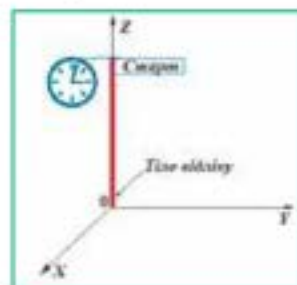


Рис. 2.2. Система відліку

Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і приладу для відліку часу утворює систему відліку (рис. 2.2).

Вибір тіла відліку може суттєво змінити опис стану тіла. Розглянемо приклад. Нерухома людина перебуває на платформі й спостерігає за тілом, що лежить на ній (рис. 2.3). Зв'яжемо з платформою систему відліку. Для спостерігача на платформі тіло перебуває в спокої. Водночас для спостерігача, що перебуває біля платформи (система  $X_1Y_1$ ), тіло рухається. Отже, одне й те саме тіло у різних системах відліку може рухатися по-різному. В одній системі ( $XY$ ) воно перебуває у спокої, а в іншій (системі  $X_1Y_1$ ) – рухається.



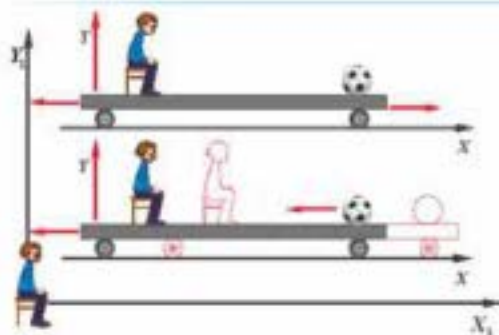


Рис. 2.3. Рух відносно різних систем відліку

**Відносність руху.** Наведений приклад доводить, що *механічний рух відносний*.

Як ви очевидно бачили, крім рухомих тіл є *нерухомі*. Не рухаються будинки, мости, дерева. Але не рухаються відносно чого? Відносно Землі так – вони нерухомі, а відносно Сонця вони обертаються разом із Землею. Отже, наступна важлива ознака механічного руху це *відносність*. Поняття рух і спокій – відносні й залежать від обраної системи відліку.

Наведемо ще приклади. Уявімо собі пасажир, що сидить у вагоні рухомого потяга. Що можна сказати про його рух? Провідник вагона скаже про пасажир, що він нерухомий (сидить), людина, що перебуває на платформі, повз яку рухається потяг, запевняє, що пасажир рухається повз неї. Кожен з них має рацію. Провідник вагона, заявляючи про те, що пасажир не рухається, розглядає положення пасажир відносно предметів у вагоні. Людина на платформі, що спостерігає за рухом потяга, розглядає положення пасажир відносно себе або платформи. Оскільки обидва спостерігачі розглядали положення відносно різних тіл, то вони і дійшли різних висновків.

Розглянемо інший приклад. Пасажир перебуває у закритій каюті річкового пароплава, де він бачить тільки стіни каюті й зашторене 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 відчинити вікно, знайти якийсь нерухомий предмет на березі й тільки за зміною відстані до цього предмета можна зробити висновки про рух пароплава.

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

### Це цікаво знати

Питання про відносність руху і спокою вивчав славетний італійський учений Галілео Галілей. Він пропонував дослідникам спостерігати за поведінкою комах, рибок в акваріумі, краплин води, що скакують в посуді-



ну під палубою корабля, який рухатиметься з постійною швидкістю без розгойдування. Вчений наголошував, що всередині цієї системи відліку не можна буде відрізнити стан рівномірного руху від стану спокою.

Нижче наводимо цитату з його книги, вперше опублікованої 1632 р., в якій він викладає свої погляди на дане питання:

«Зберіться з приятелем під палубою корабля. Візьміть із собою літаючих комах, посудину з водою, в якій плавають рибки. Підвісьте вгорі відерце, з якого крапля за краплею витікає вода в іншу посудину з вузькою шийкою, що стоїть у низу. Доки корабель стоїть нерухомо, спостерігайте уважно за рухом комах та рибок. Зверніть увагу, що всі падаючі краплі попадають у підставлену посудину... Стрибаючи двома ногами, ви зробите стрибок на одну й ту саму відстань, незалежно від його напрямку. Спостерігайте добре за всім цим, хоча у нас не виникає сумніву у тому, що поки корабель залишається нерухомим, все має відбуватися саме так. Приведіть тепер корабель у рух з якою завгодно швидкістю. Якщо рух буде рівномірним і без гойдання в той чи інший бік, то в усіх указаних явищах ви не виявите жодної зміни й ні за жодним із них не зможете встановити, рухається корабель чи стоїть на місці».



### Головне у цьому параграфі

Все в оточуючому нас світі рухається. Найбільш знайомим, наочним і доступним для дослідження є **механічний рух**.

**Механічний рух** – це зміна з часом взаємного положення тіл чи їх частин у просторі.

Щоби фіксувати зміну положення тіла у просторі необхідно встановити **відносно чого** відбувається саме ця зміна.

Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і приладу для відліку часу утворює **систему відліку**.

Поняття руху і спокою – **відносні** й залежать від обраної системи відліку.



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух називається механічним? Наведіть приклади механічного руху.
2. Що таке механіка?
3. Що називають системою відліку?
4. Доведіть вираз, що спокій і рух – поняття відносні.





## Це цікаво знати

☼ **Земля і Сонце** – тіла відліку для механічного руху в космічному просторі.

Спостерігаючи зорі на нічному небі, годі позбутися відчуття, що всі вони наче прикріплені до якоїсь поверхні, що лежить від нас повсюди на однаковій відстані. Колись давно, коли люди мало знали про довкілля, вважалося, що зорі прикріплені до твердого неба, яке з усіх боків оточує Землю. Його називали *небесною сферою*. Насправді твердого неба не існує, а небесна сфера – явище позірне, тобто видиме лише нашою, людською, уявою.

Ще в сиву давнину було встановлено, що небесні світила обертаються навколо Землі. З цього зробили висновок – небесна сфера також обертається навколо нашої планети. Це приклад того, що люди інколи помиляються, намагаючись знайти пояснення природним явищам. Справжню їх суть, як у прикладі з небесною сферою, здатна встановити тільки наука, наукові дослідження.

Коли ми спостерігаємо рух небесних світил навколо Землі, то наша планета для такого руху є точкою відліку, хоча він є наслідком обертання Землі. Вона, як велетенська дзиґа, обертається навколо власної осі, а нам здається, що навколо Землі обертається зоряне небо, а точніше – небесна сфера.

Земля є точкою відліку для руху Місяця – її єдиного природного супутника. Фази Місяця, тобто його видима форма, змінюються внаслідок просторової зміни положення Місяця відносно Землі й Сонця. Для усіх штучних супутників, що обертаються навколо нашої планети, точкою відліку також є Земля.

Здавна людина помітила цікаву особливість: вигляд зоряного неба змінюється впродовж року. Причину цього явища не могли зрозуміти дуже довго (його, наприклад, неможливо пояснити обертанням Землі навколо осі). Пояснити відмінність вигляду зоряного неба в різні пори року люди змогли тільки тоді, коли зрозуміли, що Земля обертається навколо Сонця.

Внаслідок того, що Земля рухається навколо Сонця, нам здається, що воно впродовж року зміщується по небесній сфері вздовж *екліптики* (рис. 2.4). Такий рух Сонця дає нам змогу бачити в різні пори року різні світила. Цікаво, що коли Місяць перетинає екліптику в повню, настає затемнення Місяця, а якщо у фазі нового Місяця – затемнення Сонця.

З вибором точки відліку для руху небесних тіл пов'язано питання *системи світу*. Якщо її центром є Земля, то таку систему світу називають *геоцентричною*, а якщо Сонце – *геліоцентричною*.



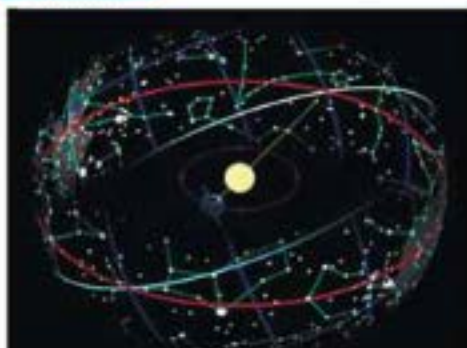


Рис. 2.4. Обертання Землі навколо Сонця та як наслідок цього – річний рух Сонця по небесній сфері

## § 7. Поступальний рух

Механічні рухи тіл можуть бути досить складними й різноманітними. Вивчати їх буває досить важко. Тому при дослідженні механічного руху намагаються виділити простіші форми, і тоді будь-який складний рух можна розглядати як комбінацію простих рухів. Простою формою руху є **поступальний рух**.

- **Траєкторія**
- **Поступальний рух**

**Траєкторія.** Дослідити рух тіла (зміну його положення у просторі з плином часу) можна за його **траєкторією**.

**Траєкторія** – неперервна уявна лінія, яку описує тіло під час свого руху в обраній системі відліку.

Траєкторія руху деяких тіл може бути наперед відомою. Так, траєкторія руху потягу визначена залізничною колією, траєкторія руху плота – течією річки. Досить часто траєкторію руху тіла необхідно розрахувати, виходячи з інших характеристик руху. Наприклад, щоб запустити супутник, який буде обертатись навколо Землі, йому необхідно надати певної початкової швидкості.

Траєкторія руху може бути видимою (слід від реактивного літака на небосхилі (рис. 2.5) і невидимою (політ птаха).



Рис. 2.5. Траєкторія руху літака



Залежно від форми траєкторії розрізняють **прямолінійний** і **криволінійний** рух.

Зрозуміло, що траєкторією прямолінійного руху тіла є пряма лінія.

Траєкторії криволінійного руху можуть бути дуже складними й різноманітними. Але, як ми вже говорили, будь-який складний рух можна вивчити за допомогою простішого. Так, будь-який криволінійний рух можна розглядати як послідовність ділянок, що складаються з дуг кіл різного діаметра (рис. 2.6).

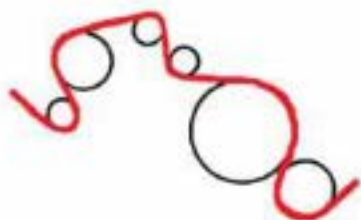


Рис. 2.6. Траєкторія криволінійного руху



Рис. 2.7. Траєкторія точки колеса відносно землі

Оскільки тіло відліку вибирається довільно, то траєкторія руху одного й того самого тіла відносно різних систем відліку буде різною. Наприклад, усі точки колеса велосипеда відносно його осі описують кола, проте в системі відліку, пов'язаній із землею, ця лінія більш складна (рис. 2.7).

**Поступальний рух.** Тіло може рухатись так, що пряма, яка сполучає дві будь-які його точки, при переміщенні тіла буде паралельною сама собі. Або іншими словами, коли всі точки тіла переміщуються однаково по однакових траєкторіях. Такий рух називається *поступальним*.

**Поступальний рух** – це рух, під час якого всі точки тіла рухаються однаковими траєкторіями.

Наприклад, поступально рухається вантаж при транспортуванні його підйомним краном; кабіна оглядового колеса (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Приклади поступального руху



Під час поступального руху всі точки тіла проходять однакові відстані й при своєму русі описують однакові лінії. Щоби вивчити поступальний рух тіла, досить вивчити рух якої-небудь однієї його точки.



### Головне у цьому параграфі

Здійснюючи механічний рух, кожне тіло поступово переходить з однієї точки простору в іншу. Сукупність таких точок утворює неперервну лінію – *траєкторію*.

Траєкторія одного й того самого руху тіла у різних системах відліку має різний вигляд.

Залежно від вигляду траєкторії всі механічні рухи поділяють на прямолінійні та криволінійні.

Рух, під час якого всі точки тіла рухаються однаковими траєкторіями, називається *поступальним*.



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке траєкторія?
2. Вкажіть, як класифікують механічний рух за формою траєкторії.
3. Який рух називають поступальним? Наведіть приклади поступального руху.

## § 8. Матеріальна точка

Для дослідження механічного руху застосовують фізичні моделі, за допомогою яких децю спрощується вивчення механічного руху.

- **Матеріальна точка і фізичне тіло**
- **У яких випадках тіло можна вважати матеріальною точкою**

**Матеріальна точка і фізичне тіло.** Досліджуючи механічний рух тіла, ми можемо використати деякі спрощення. Наприклад, якщо ми розглядатимемо рух потяга між Києвом і Львовом, то, визначаючи його положення в просторі, ми зможемо знехтувати його розмірами й прийняти його за точку. У фізиці прийнято говорити: матеріальну точку.

**Матеріальна точка** – тіло, розмірами і формою якого в даній задачі можна знехтувати.





Вважати тіло матеріальною точкою ми можемо і в тому випадку, коли розміри тіла малі порівняно з пройденим шляхом. Наприклад, під час руху літака між материками (рис. 2.9, а), при русі Землі навколо Сонця (рис. 2.9, б).

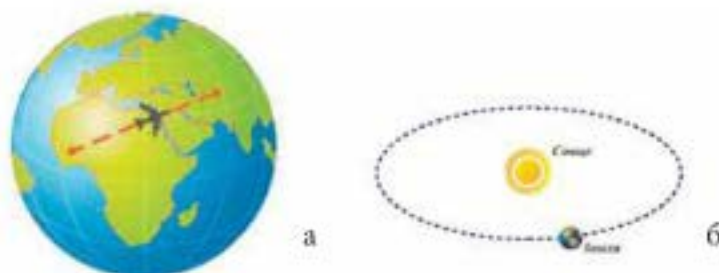


Рис. 2.9. Випадки, коли тіла можна вважати матеріальними точками

### **У яких випадках тіло можна вважати матеріальною точкою.**

Матеріальна точка – це фізична модель реального тіла, яка вводиться для спрощення вивчення механічного руху. Слід зазначити, що одне й те саме тіло не завжди можна вважати матеріальною точкою. Наприклад, для обчислення часу перельоту літака між двома містами (рис. 2.9, а) літак можна вважати матеріальною точкою, бо його розміри надзвичайно малі у порівнянні з відстанню між містами. Якщо є потреба описати рух літака під час виконання ним фігур вищого пілотажу (рис. 2.10), то виникає необхідність враховувати розміри літака. Різні точки літака (А; В; С) рухатимуться по-різному: літак погойдуватиме крилами, підніматиме чи опускатиме ніс. За цих умов літак не можна вважати матеріальною точкою.



Рис. 2.10. Під час виконання фігур вищого пілотажу літак не можна вважати матеріальною точкою

Чи можна вважати тіло матеріальною точкою залежить від умови задачі. Надалі, якщо ми розглядатимемо поступальний рух тіла або якщо розміри тіла малі порівняно з довжиною пройденого шляху, ми вважатимемо тіло матеріальною точкою і визначати його положення у просторі будемо за координатами цієї точки.



Будь-яке тіло має нескінченно велику кількість точок, тому визначити його положення на площині чи у просторі часто дуже важко. Тому там, де розмірами тіла можна знехтувати, достатньо розглянути рух однієї точки тіла. Матеріальна точка – тіло, розмірами і формою якого в даній задачі можна знехтувати.

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



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають матеріальною точкою?
2. У яких випадках застосовують поняття матеріальної точки?
3. Укажіть, у якому з наведених нижче прикладів рух тіла можна розглядати як рух матеріальної точки: а) корабель швартується до причалу; б) турист мандрує по Карпатах; в) муха повзе по стелі; г) автомобіль паркується на стоянку.

## § 9. Шлях і переміщення

Досліджуючи механічний рух, ми будемо використовувати специфічні фізичні величини. До цих величин належать шлях і переміщення. З'ясуємо їх суть.

- Шлях
- Переміщення

**Шлях.** За траєкторією руху легко визначити шлях, пройдений тілом. Для цього необхідно виміряти довжину траєкторії між початком і кінцем руху.

**Шлях** – це довжина траєкторії, яку проходить тіло за час руху.

Шлях позначається латинською літерою  $l$ . **Одиницею** шляху є **метр**.

Для запису одиниці величини застосовують квадратні дужки:  $[l] = \text{м}$ .

Якщо в домо, де розташоване тіло на початку руху, відомі його траєкторія і пройдений шлях, то можна визначити, де буде тіло у кінці руху.

**Переміщення.** Якщо траєкторія руху невідома і якщо не важливо, якою саме траєкторією рухається тіло, а важливо уміти визначити зміну положення тіла у просторі з плином часу, тоді користуються поняттям переміщення.



**Переміщення** – векторна фізична величина, що характеризує зміну положення тіла у просторі. Переміщення є напрямленим відрізком, який сполучає початкове та кінцеве положення тіла.

Переміщення позначається латинською літерою  $s$ . **Одиницею** переміщення є **метр**.



$$|s| = m.$$

Рис. 2.11. Шлях і переміщення

Наприклад, щоб дістатись з одного населеного пункту в інший, водію доводиться їхати звивистою дорогою (рис. 2.11). Пройдений шлях – це довжина дороги  $l$  (траєкторії). Разом з тим, водій здійснив переміщення з точки  $a$  в точку  $b$ , яке можна оцінити, з'єднавши початкове й кінцеве положення тіла в просторі прямою лінією і вказавши напрям руху. Тобто, щоб знайти кінцеве положення тіла в будь-який момент часу, потрібно знати його положення у початковий момент та переміщення.

Якщо траєкторія криволінійна, переміщення менше шляху, бо відрізок прямої коротший за будь-яку криву, що з'єднує кінці відрізка.

У випадку прямолінійного руху за умови, що тіло не змінювало напрям руху, переміщення і шлях збігаються.

У випадку, коли тіло повертається у початкове положення (наприклад, якщо тіло, рухаючись по колу, здійснює повний оберт), переміщення дорівнює 0. Тобто переміщення може дорівнювати нулю навіть тоді, коли тіло рухалось.



### Головне у цьому параграфі

За траєкторією руху легко визначити шлях, пройдений тілом. Шлях – це довжина траєкторії, яку проходить тіло за час руху.

Якщо траєкторія руху невідома і якщо не важливо, якою саме траєкторією рухається тіло, а важливо уміти визначити зміну положення тіла у просторі з плином часу, тоді користуються поняттям переміщення.

Переміщення – це напрямлений відрізок, який з'єднує початкове й кінцеве положення тіла, що рухалось.





1. Що таке пройдений шлях і переміщення?
2. Чим відрізняється шлях від переміщення?

#### Вправа 4

1(с). У вагоні пасажирського потяга, що рухається, на столику лежить книжка. У стані спокою чи руху перебуває книжка відносно: а) столика; б) рейок; в) підлоги вагона; г) дерев.

2(с). Яку траєкторію під час руху по прямолінійній дорозі описує центр колеса автомобіля?

3(с). Чи може човен бути нерухомим відносно берегів річки, хоча гребці й працюють веслами? Чи буде при цьому нерухомим човен відносно води?

4(д). На довгій платформі *A* є візок *B* (рис. 2.12). Чи може він одночасно рухатись і не рухатись? Як це зробити?

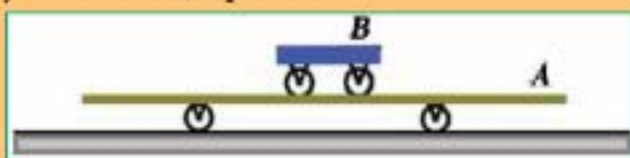


Рис. 2.12. Рухома платформа та візок

5(д). М'яч упав з висоти 3 м, підстрибнув від підлоги і був зловлений на висоті 1 м. Визначити шлях і переміщення м'яча.

6(д). Гелікоптер пролетів 400 км на схід, а потім повернув на південь 300 км. Побудувати траєкторію руху (рекомендований масштаб: у 1 см – 100 км). Графічно визначте переміщення та порівняйте зі шляхом.

### § 10. Рівномірний прямолінійний рух

- Рівномірний прямолінійний рух
- Швидкість руху тіла
- Вимірювання швидкості руху тіла
- Швидкість руху тіла – величина відносна

**Рівномірний прямолінійний рух.** Серед безлічі різноманітних механічних рухів виділяють рух по прямій, а серед множини прямолінійних рухів – рівномірний рух. Такий рух найпростіший і його просто описати.



**Рівномірний прямолінійний рух** – рух, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу здійснює однакові переміщення (проходить однакові відстані вздовж прямої).

Наприклад, якщо тіло за першу секунду від початку спостереження за його рухом проходить 10 м, за кожну наступну також по 10 м, за кожну половину секунди – 5 м, за кожну п'яту частину секунди – 2 м, то тіло рухається рівномірно.

Прикладом рівномірного руху, що спостерігається у природі, є рух точки земної поверхні при добовому обертанні, кінець стрілки годинника по циферблату. Прямолінійний рівномірний рух у природі зустрічається досить рідко, прикладом такого руху можна вважати рух потяга на довгому й рівному відрізку дороги (рівномірність цього руху можна встановити, прислухавшись до стуків при ударі коліс об стики рейок).

**Швидкість руху тіла.** Коли тіло рухається, то за певний час воно проходить деякий шлях. Для різних рухомих тіл (рис. 2.13) цей шлях може бути різним. Пішохід за дві години пройде 10 км, а автомобіль за цей самий час проїде 200 км. Порівнюючи рух пішохода й автомобіля, кажуть, що автомобіль рухається швидше за пішохода.



Рис. 2.13. Тіла рухаються з різними швидкостями

Для порівняння стрімкості руху різних тіл у фізиці використовують таку характеристику руху, як **швидкість**.

**Швидкість руху** – це фізична величина, що характеризує механічний рух тіла та визначається відношенням пройденого шляху до інтервалу часу його руху.

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

Позначається малою латинською літерою  $v$ . Дане позначення походить від початкової літери латинського слова *velocitas* – *швидкість*. Знайоме вам слово «велосипед» походить від слів *velox* – швидкий і *pedes* – ноги.

У загальному випадку швидкість тіла визначається відношенням його переміщення  $\vec{s}$  до інтервалу часу  $t$ , протягом якого відбулось це переміщення:

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



За *одиницю швидкості* у Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнята швидкість рівномірного прямолінійного руху, при якому тіло здійснює переміщення 1 м за 1 с.

Використовуючи квадратні дужки, попередній вираз за допомогою символічних позначень записують так:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

З визначення швидкості випливає, що:

$$l = vt$$

пройдений тілом шлях, коли відомі час та швидкість його руху;

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

час руху, коли відомі пройдений шлях та швидкість руху.

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

$$1 \frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}} ;$$

$$1 \frac{\text{км}}{\text{хв}} = \frac{1000 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 16,67 \frac{\text{м}}{\text{с}} ;$$

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

$$1 \frac{\text{см}}{\text{хв}} = \frac{0,01 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 1,67 \frac{\text{м}}{\text{с}} .$$

**Вимірювання швидкості руху тіла.** Для вимірювання швидкості механічного руху транспортного засобу використовують прилад, який називається **спідометром** (рис. 2.14).



Рис. 2.14. Спідометр



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 – рівним швидкості світла у вакуумі* ( $3 \cdot 10^8$  м/с).

**Швидкість руху тіла – величина відносна.** Швидкість механічного руху є відносною величиною. Її значення залежить від вибору тіла відліку. Так, швидкість будинку відносно Землі дорівнює нулю. Проте відносно Сонця він рухається разом із Землею зі швидкістю 30 км/с.





## Це цікаво знати

### Швидкості в природі й техніці (в м/с)

Швидкість світла	$3 \cdot 10^8$
Швидкість руху Землі по орбіті навколо Сонця	$3 \cdot 10^4$
Швидкість штучного супутника Землі	$8 \cdot 10^3$
Швидкість Місяця по орбіті навколо Землі	$10^3$
Реактивний літак	700
Швидкість руху молекули азоту при температурі	500
Максимальна швидкість руху легкового автомобіля	280
Швидкість гепарда	31
Швидкість бігу людини на дистанції 100 м	10
Швидкість пішохода	1–1,3
Швидкість черепахи	0,05
Швидкість равлика	0,0014

На малюнках швидкість руху тіла зображують стрілками (рис. 2.15).



Це тому, що швидкість руху тіла в загальному випадку визначається відношенням переміщення  $\vec{s}$  до інтервалу часу  $t$ , протягом якого відбулось це переміщення:

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

Рис. 2.15. Напрямок швидкості руху тіл

Швидкість, крім числового значення, має напрям. У випадку рівномірного прямолінійного руху:

- швидкість тіла залишається сталою за модулем і за напрямом,
- шлях – величина скалярна, від'ємним бути не може,
- швидкість рівномірного прямолінійного руху, яку визначають за пройденим шляхом ще називають *шляховою*. Шляхова швидкість – скалярна величина.



## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Потяг пройшов за 3 год відстань 120 км. Обчислити швидкість руху потяга і виразити її у метрах за секунду. В якому випадку його рух можна вважати рівномірним?

Дано:

$$t = 3 \text{ год}$$

$$l = 120 \text{ км}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Швидкість руху потяга визначаємо за формулою:  $v = \frac{l}{t}$

$$v = \frac{120}{3} = 40 \left( \frac{\text{км}}{\text{год}} \right)$$

$$[v] = \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$\text{Виразимо цю швидкість у м/с: } 40 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 40 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 11 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Рух потяга буде рівномірним, якщо швидкість руху в будь-який момент часу залишається незмінною.

**Відповідь:** швидкість потяга 11 м/с.

**Задача 2.** Якщо велосипедист за перші 5 хв пройшов 5 км, а за наступні 1/6 год – 10 км, то чи можна вважати такий рух рівномірним?

Дано:

$$t_1 = 5 \text{ хв}$$

$$l_1 = 5 \text{ км}$$

$$t_2 = 1/6 \text{ год} = 10 \text{ хв}$$

$$l_2 = 10 \text{ км}$$

$$v_1 = ? \quad v_2 = ?$$

Розв'язання

Щоб з'ясувати, чи можна вважати рух рівномірним, потрібно порівняти швидкості його руху на першій ділянці руху та на другій.

$$v_1 = \frac{5}{5} = 1 \left( \frac{\text{км}}{\text{год}} \right)$$

$$v_2 = \frac{10}{10} = 1 \left( \frac{\text{км}}{\text{год}} \right)$$

$$[v] = \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

Оскільки  $v_1 = v_2$ , то рух рівномірний.

**Відповідь:** так, рух рівномірний.



Рівномірним прямолінійним рухом називають такий рух тіла, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу проходить відповідно однакові відстані (переміщення).

Під час прямолінійного руху тіла шлях і переміщення збігаються (за умови, якщо тіло не змінювало напрямку руху).

Швидкість руху – це фізична величина, що характеризує механічний рух тіла та визначається відношенням пройденого шляху до інтервалу часу його руху  $v = \frac{l}{t}$ .

За одиницю швидкості у Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнята швидкість рівномірного прямолінійного руху, при якому тіло здійснює переміщення 1 м за 1 с,  $[v] = \text{м/с}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке швидкість механічного руху?
2. Чому швидкість руху тіла величина відносна?
3. Які одиниці швидкості застосовують у фізиці? Який між ними зв'язок?
4. Як вимірюють швидкість руху тіла?

### Вправа 5

1 (д). Перший автомобіль, що рухався рівномірно зі швидкістю 15 м/с, протягом 8 с пройшов такий самий шлях, який пройшов другий за 15 с. Яка швидкість руху другого автомобіля?

2 (д). Швидкість руху Землі по орбіті навколо Сонця 30 км/с. Який шлях пройде Земля по орбіті за один урок (45 хв)? За одну добу? За один рік?

3 (д). Радіосигнали поширюються зі швидкістю 300 000 км/с. Через скільки секунд спостерігач на Землі прийме радіосигнал, який він послав на Місяць і який відбився від нього, якщо віддаль від Землі до Місяця 384 400 км?

4 (в). Кулька в трубці з водою (рис. 2.16) опускається рівномірно і щосекунди проходить 5 см. У якому напрямі і з якою швидкістю треба переміщувати трубку, щоб кулька відносно поверхні землі залишалась у спокої?



Рис. 2.16. Кулька в трубці з водою





## § 11. Рівняння руху

Механічний рух можна досліджувати і графічним способом, за допомогою відповідних графіків. Для цього нам необхідно уміти записувати рівняння руху.

- Рівняння рівномірного руху
- Залежність зміни координати тіла від часу

**Рівняння рівномірного руху.** Знаючи швидкість рівномірного руху тіла, можна визначити шлях, пройдений за час  $t$ , за формулою:  $l = vt$ . Написана формула називається **рівнянням рівномірного руху**. Це рівняння математично виражає залежність пройденого шляху від часу: *пройдений шлях при рівномірному прямолінійному русі прямо пропорційний часові*.

**Залежність зміни координати тіла від часу.** Нехай тіло в момент початку перебуває в точці з координатою  $x_0$  (рис. 2.17); через деякий час  $t$ , здійснивши переміщення, воно матиме координату  $x$ . Таким чином з рисунку видно, що числове значення пройденого шляху вздовж осі  $X$  дорівнює зміні координат тіла  $x - x_0$  тобто  $l = x - x_0$ .

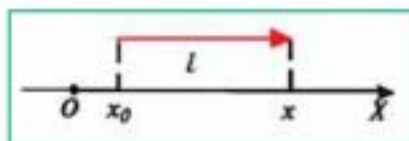


Рис. 2.17. Зміна координат тіла під час руху

Враховуючи рівняння руху  $l = vt$  і вираз  $l = x - x_0$ , отримуємо:  $x = x_0 + vt$  – рівняння зміни координати тіла під час рівномірного прямолінійного руху, яке також називають рівнянням руху.

Оскільки тіла, рух яких ми розглядаємо, у початковий момент часу можуть перебувати у довільному місці й можуть рухатись у довільному напрямі з довільною швидкістю, то рівняння руху для кожного тіла матиме свій вигляд.

Розглянемо приклад (рис. 2.18, а). З рисунка видно, що автобус та легковий автомобіль рухаються назустріч один одному. Швидкість автобуса 30 км/год, а швидкість автомобіля 60 км/год. Виразимо ці швидкості у м/с:

$$\text{швидкість автобуса} \quad 30 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 30 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 8,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} ;$$



швидкість автомобіля  $60 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 60 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

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

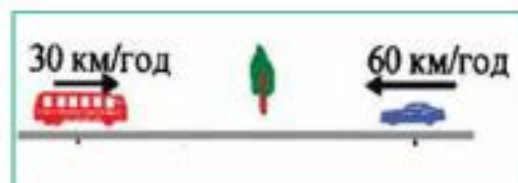


Рис. 2.18, а: Початкове положення тіл

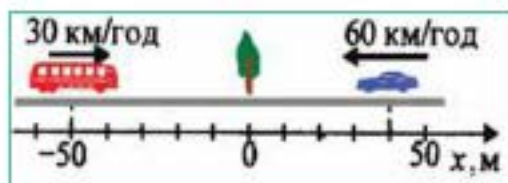


Рис. 2.18, б: Дослідження руху тіл у вибраній системі відліку

Оберемо систему відліку, у якій будемо досліджувати рух тіл (рис. 2.18, б):

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

Початкові координати: автобуса – 50 м, 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 одиницях СІ.

Для автобуса:  $x_1 = -50 + 8,3t$ , для автомобіля:  $x_2 = 40 - 16,7t$ .



### Головне у цьому параграфі

Рівняння  $l = vt$  математично виражає залежність пройденого шляху від часу: *пройдений шлях при рівномірному прямолінійному русі прямо пропорційний часові.*

Складаючи рівняння руху, слід враховувати, що всі величини, які входять до рівняння, мають бути виражені в належних одиницях.

Складаючи рівняння залежності координати рухомого тіла від часу  $x = x_0 + vt$ , враховуємо ще й початкову координату тіла та напрям швидкості руху, що визначатиме знаки «+» та «-» у рівнянні руху.



1. Який вираз називають рівнянням руху?
2. Яку математичну залежність описує рівняння  $l = vt$  ?
3. Автобус в початковий момент спостереження перебував на відстані 15 м від зупинки і рухався до неї зі сталою швидкістю 5 м/с. Зробіть графічний малюнок до задачі. Запишіть рівняння руху автобуса.

## § 12. Графіки рівномірного прямолінійного руху

Дослідимо характер руху тіла графічним способом, зображуючи залежності параметрів руху (швидкості, пройденого шляху, переміщення, координати) від часу за допомогою відповідних графіків.

- **Графік швидкості руху тіла**
- **Графік шляху**
- **Графік зміни координати тіла**

**Графік швидкості руху тіла.** Як відомо, швидкість тіла під час рівномірного прямолінійного руху з часом не змінюється. Тому графік швидкості – це пряма, паралельна осі часу  $t$ .

Пройдений тілом шлях графічно визначається як площа прямокутника, обмеженого лінією графіка швидкості й перпендикуляром, опущеним на вісь часу  $t$  у точку, яка відповідає часу руху (рис. 2.19).

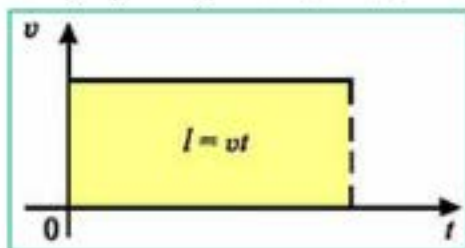


Рис. 2.19. Графік швидкості

**Графік шляху.** Як видно з формули  $l = vt$ , між пройденим шляхом і часом існує прямо пропорційна залежність, яку графічно зображають прямою, що проходить через початок координат. Залежно від значення швидкості нахил ліній буде різним: чим більша швидкість, тим крутіше здійснюється графік (рис. 2.20). З рисунка видно, що протягом одного і того ж інтервалу часу від до друге тіло проходить більший шлях ніж перше, отже, швидкість другого тіла більша за швидкість першого.



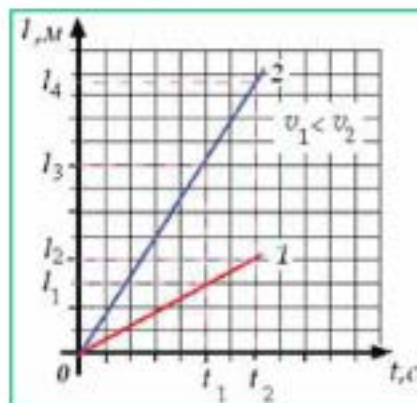


Рис. 2.20. Графік шляху

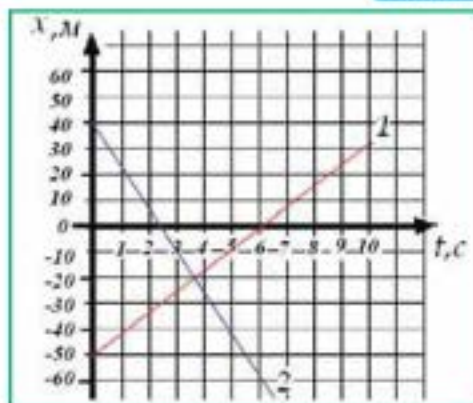


Рис. 2.21. Графіки руху

**\*Графік зміни координати тіла.** Цей графік характеризує зміну координат тіла з часом. Як ми з'ясували, вираз, який дає змогу визначити координату тіла у будь-який момент часу, називають рівнянням руху, яке у загальному випадку має вигляд:  $x = x_0 + vt$ .

Оскільки тіла, рух яких ми розглядаємо, у початковий момент часу можуть перебувати у довільному місці і можуть рухатись у довільному напрямі з довільною швидкістю, то рівняння руху для кожного тіла матиме свій вигляд.

Нехай рівняння руху для автобуса:  $x_1 = -50 + 8,3t$ , для автомобіля:  $x_2 = 40 - 16,7t$ . Побудуємо відповідні графіки руху (рис. 2.21).

Проаналізуємо отримані графіки. Графік 1 спрямований вгору, це свідчить про те, що напрям руху автобуса (тобто напрям швидкості його руху) збігається з вибраним напрямом осі координат. Даний графік перетинає вісь часу при  $t = 6$  с. Це означає, що через 6 с від початку руху автобус перебував біля тіла відліку (у початку координат).

Оскільки автомобіль рухається у протилежному до осі  $X$  напрямі, то графік його руху спрямований вниз. Біля тіла відліку автомобіль буде через 2,4 с.

Координати точки перетину графіків визначають час та місце зустрічі тіл: через 3,7 с обидва тіла будуть перебувати на відстані 20 м ліворуч від дерева.

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



## Головне у цьому параграфі

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



## Запитання для самоперевірки

1. Як зобразити швидкість графічно?
2. Який графік пройденого шляху?
3. Який графік руху? Чим він відрізняється від графіка шляху?

## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** На рисунку 2.22 зображено положення двох тіл в момент початку спостереження. Визначити: а) координати початкових положень тіл; б) напрям руху тіл; в) швидкість руху тіл. Скласти рівняння руху тіл. Визначити: а) час зустрічі тіл; б) координату зустрічі тіл; в) шляхи, пройдені тіла до моменту зустрічі. Побудувати графіки  $v = v(t)$ ;  $l = l(t)$ ;  $x = x(t)$ .

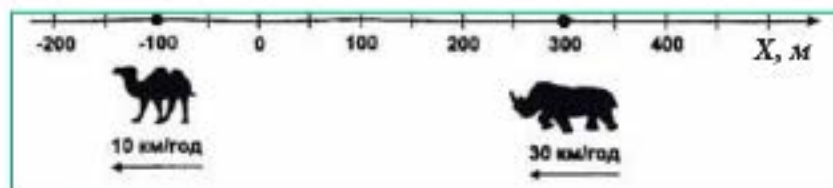


Рис. 2.22. Положення тіл у початковий момент спостереження

Дано:

$$x_{01} = -100 \text{ м}$$

$$x_{02} = 300 \text{ м}$$

$$v_1 = 10 \text{ км/год}$$

$$v_2 = 30 \text{ км/год}$$

$$t - ? \quad x - ?$$

$$l_1 - ? \quad l_2 - ?$$

СІ

$$2,8 \text{ м/сек}$$

$$8,3 \text{ м/сек}$$

## Розв'язування

З рисунка визначаємо координати початкових положень тіл: для першого тіла  $x_{01} = -100 \text{ м}$ , для другого тіла  $x_{02} = 300 \text{ м}$ .

Обидва тіла рухаються у напрямку, протилежному до осі  $X$ .



У загальному випадку рівняння руху має вигляд:  $x = x_0 + vt$ .

Складаючи рівняння руху, звертаємо увагу на початкову координату тіла та напрям швидкості руху, що визначатиме знаки «+» та «-» у рівнянні руху.

Для першого тіла рівняння руху має вигляд:  $x_1 = -100 - 2,8t$ , для другого  $x_2 = 300 - 8,3t$ .

Два тіла під час зустрічі перебувають в одному і тому ж місці, тобто координати їх положення однакові:  $x_1 = x_2$ .

$$\text{Звідси: } -100 - 2,8t = 300 - 8,3t;$$

$$5,5t = 400;$$

$$t = 72,7 \text{ с} \approx 1 \text{ хв } 13 \text{ с}$$

Підставляючи час зустрічі в одне з рівнянь руху, визначаємо координату місця зустрічі:  $x = -100 \text{ м} - 2,8 \text{ м/с} \cdot 72,7 \text{ с} \approx -304 \text{ м}$ .

Шлях, пройдений першим тілом до моменту зустрічі:  $l_1 = v_1 t$ .

$$l_1 = 2,8 \text{ м/с} \cdot 72,7 \text{ с} \approx 204 \text{ м}$$

Шлях, пройдений другим тілом до моменту зустрічі:  $l_2 = v_2 t$

$$l_2 = 8,3 \text{ м/с} \cdot 72,7 \text{ с} \approx 604 \text{ м}$$

Відповідні графіки подано на рисунках 2.23, 2.24, 2.25.

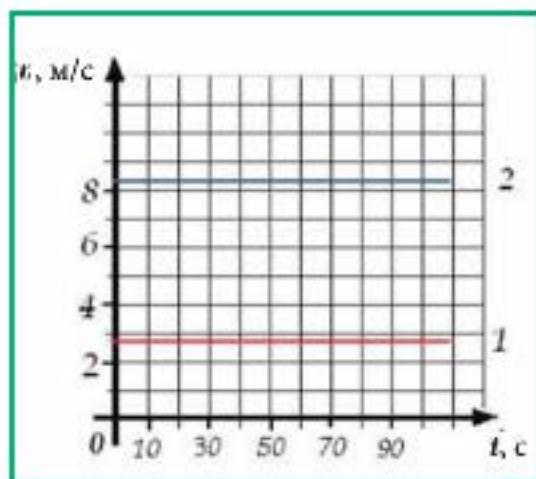


Рис. 2.23. Графіки швидкості руху  
 $v = v(t)$

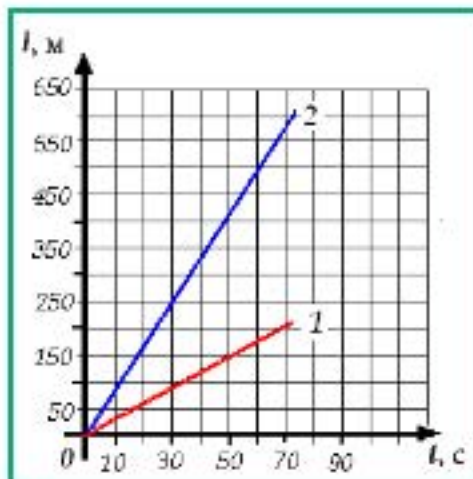


Рис. 2.24. Графіки шляху  
 $l = l(t)$





**Миттєва швидкість.** Щоб, знати швидкість та напрям руху тіла у певний момент часу у певній точці траєкторії застосовують поняття миттєвої швидкості.

**Миттєва швидкість** – векторна фізична величина, що визначає напрям і числове значення швидкості нерівномірного руху в даній точці траєкторії.

Саме миттєву швидкість фіксує спідометр автомобіля.

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

Миттєва швидкість нерівномірного руху в різних точках траєкторії і в різні моменти часу – різна.



### Головне у цьому параграфі

У реальному житті найчастіше ми маємо справу з **нерівномірним** рухом, коли тіло за рівні інтервали часу здійснює різні переміщення.

Для опису нерівномірного руху користуються поняттями **середньої** та **миттєвої** швидкості.

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

$$v_c = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \text{ де } l_1, l_2, \dots, l_n - \text{ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу } t_1, t_2, \dots, t_n.$$

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Велосипедист першу половину часу при переїзді з одного пункту в інший їхав зі швидкістю 12 км/год, а другу половину часу – (через прокол шини) йшов пішки зі швидкістю 4 км/год. Яка середня швидкість руху велосипедиста?

Дано:

$$t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$$

$$v_1 = 4 \text{ км/год}$$

$$v_2 = 12 \text{ км/год}$$

$$v_c = ?$$

Розв'язування



Рис. 2.30. Рух велосипедиста



Будемо розглядати рух велосипедиста відносно дороги (рис. 2.30).

Рух велосипедиста в цілому нерівномірний, але на першій і другій частині шляху він рухався рівномірно з відповідними швидкостями. Тому пройдені ним ділянки шляху:  $l_1 = v_1 t_1$  і  $l_2 = v_2 t_2$ .

$$\text{Середня швидкість руху } v_c = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Враховуючи, що за умовою  $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$ , отримуємо:

$$v_c = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} = \frac{\frac{t}{2}(v_1 + v_2)}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

$$\text{Обчислення: } v_c = \frac{12 + 4}{2} = 8 \left( \frac{\text{км}}{\text{год}} \right); \quad [v_c] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{год}} + \frac{\text{км}}{\text{год}}}{2} = \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Проаналізуємо відповідь. Середня швидкість руху визначається як середнє арифметичне її значень. Але подібним чином вона визначається лише у випадку, коли інтервали часу однакові. Можете переконатись у цьому, розв'язавши самостійно таку задачу:

Першу половину шляху велосипедист рухався зі швидкістю 12 км/год, а другу половину шляху – (через прокол шини) йшов пішки зі швидкістю 4 км/год. Якою буде середня швидкість руху велосипедиста у цьому випадку? (**Відповідь:** 6 км/год.)

**Задача 2.** На рисунку 2.31 зображено графік шляху тіла. З якою швидкістю рухалось тіло до зупинки та після? Яка середня швидкість руху тіла?

Дано:

$$l_1 = 6 \text{ м}$$

$$l_2 = 0 \text{ м}$$

$$l_3 = 3 \text{ м}$$

$$t_1 = 2 \text{ с}$$

$$t_2 = 1 \text{ с}$$

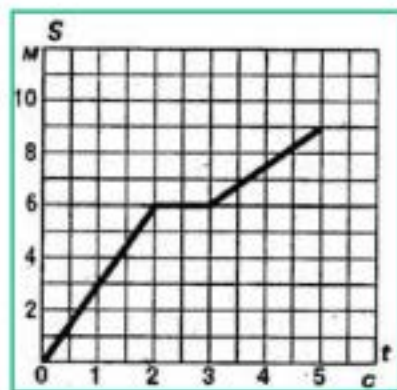
$$t_3 = 2 \text{ с}$$

$$l = 9 \text{ м}$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$$v_1 = ? \quad v_2 = ? \quad v_c = ?$$

Рис. 2.31. Графік шляху тіла





### Розв'язування

Розглянемо графік шляху. Протягом перших 2 с руху тіло пройшло шлях 6 м, наступну 1 с – тіло стояло і протягом наступних 2 с – пройшло шлях 3 м.

$$\text{Швидкість руху тіла до зупинки } v_1 = \frac{l_1}{t_1}; v_1 = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{після зупинки } v_2 = \frac{l_2}{t_2}; v_2 = \frac{3 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{Середня швидкість руху тіла } v_c = \frac{l}{t}; v_c = \frac{9 \text{ м}}{5 \text{ с}} = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\text{Відповідь: } v_1 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_2 = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_c = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$



### Запитання для самоперевірки

1. Який рух називають нерівномірним? Наведіть приклади.
2. Навіщо вводять поняття середньої та миттєвої швидкості? Коли застосовують кожне з них для опису руху?
3. Яку швидкість фіксує спідометр автомобіля: середню чи миттєву?

### Вправа 7

1 (с). Велосипедист за перші 5 с проїхав 40 м, за наступні 10 с – 100 м і за останні 5 с – 20 м. Визначити середні швидкості на кожній з ділянок і на всьому шляху.

2 (д). Кожну з ділянок шляху, *AB*, *BC*, *CD*, *DE*, *EF*, *FG*, автомобіль проходить за однакові інтервали часу (рис. 2.32). На якій з двох ділянок, *AD* чи *DF*, рух можна вважати рівномірним?

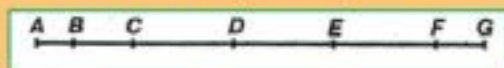


Рис. 2.32. Ділянки шляху

3 (д). Легковий автомобіль протягом першої секунди руху пройшов шлях 2,5 м, протягом другої – 7 м. З якою середньою швидкістю рухався автомобіль протягом цих двох секунд?

4 (д). Велосипедист проїхав 30 км зі швидкістю 15 км/год і 51 км зі швидкістю 17 км/год. Яка середня швидкість його руху на всьому пройденому шляху? Відповідь дати в м/с.





**5 (в).** Весь шлях автомобіль проїхав із середньою швидкістю 80 км/год. Швидкість на першій чверті шляху дорівнювала 120 км/год. Яка була швидкість на решті шляху?

**6 (в).** На рисунку 2.33 зображено графік шляху тіла. З якою швидкістю рухалось тіло на кожній з ділянок шляху? Яка середня швидкість руху тіла? Побудувати графік залежності  $v = v(t)$  і на ньому заштрихувати площі, співвідносні шляхам, пройденим тілом за відповідні інтервали часу.

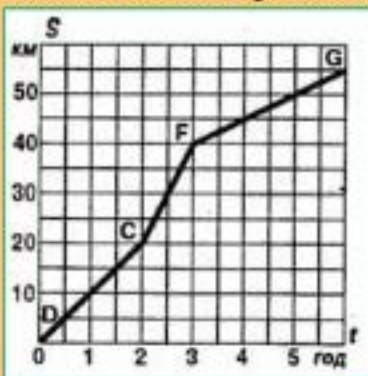


Рис. 2.33. Графік шляху

#### § 14. Рівномірний рух матеріальної точки по колу

У попередніх параграфах ми з'ясували, що прямолінійні рухи можуть бути рівномірними (коли значення швидкості не змінюється) і нерівномірними (коли швидкість руху тіла змінюється), але і в тому, і в іншому випадку напрям швидкості руху тіла не змінюється. Розглянемо криволінійні рухи, коли траєкторією руху є крива лінія.

- **Рівномірний рух по колу**
- **Напрямок швидкості руху матеріальної точки по колу**
- **Основні характеристики рівномірного руху по колу**

**Рівномірний рух по колу.** Криволінійні рухи досить поширені у природі й техніці. Найпоширенішим є рух точок тіла, траєкторією яких є коло. Планети обертаються навколо Сонця, по колових орбітах. Обертаються деталі машин та механізмів (рис. 2.34, а), колеса велосипеда (рис. 2.34, б), стрілки годинника.



а



б

Рис. 2.34. Рух по колу



Будь-яку криву лінію завжди можна представити як сукупність дуг кіл різних радіусів. Тому, вивчивши рух матеріальної точки по колу, зможемо у подальшому вивчити і будь-які інші криволінійні рухи.

Найпростішим випадком криволінійного руху є рівномірний рух по колу.

**Рух матеріальної точки по коловій траєкторії зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом, називають *рівномірним рухом по колу*.**

Наприклад, рівномірно по колу рухається кінець стрілки годинника.

**Напрямок швидкості руху матеріальної точки по колу.** Як спрямована швидкість руху, можна з'ясувати, приклавши до точильного диска сталевий ніж: іскри від нього вилітатимуть по дотичній до місця прикладання ножа (рис. 2.35,а).

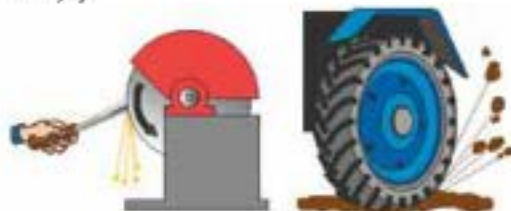


Рис. 2.35. Напрямок швидкості руху матеріальної точки по колу

Кожна іскра – це розжарена частинка, яка відірвалась від диска і летить з такою самою швидкістю, яку вона мала в останній момент руху разом з диском. Прикладаючи ніж до будь-якого місця диска, можна переконатися, що швидкість направлена по дотичній до даної точки прикладання.

По дотичній відлітають частки багнюки від коліс автомобіля, що забуксував (рис. 2.35,б).

Цей висновок можна поширити на будь-який криволінійний рух: швидкість руху тіла у різних точках криволінійної траєкторії **має різний напрям**, що збігається з напрямом дотичних, проведених у відповідних точках криволінійної траєкторії (рис. 2.36).

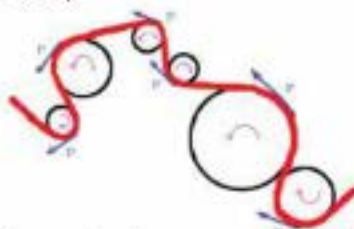


Рис. 2.36. Напрямок швидкості у різних точках криволінійної траєкторії



**Основні характеристики рівномірного руху по колу.** Рівномірний рух по колу характеризується специфічними величинами.

**Період обертання** – час одного повного оберту точки, що рухається по колу.

Позначається великою латинською літерою  $T$ . **Одиниця** періоду в СІ – секунда.

$$[T] = \text{с.}$$

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

**Обертова частота** – кількість обертів за одиницю часу.

Позначається малою латинською літерою  $n$ . **Одиниця** обертової частоти в СІ – **оберт за секунду**.

$$[n] = \text{об/с.}$$

Іноколи спрощено одиниці обертової частоти записують

$$[n] = 1/\text{с}$$

Щоби визначити обертову частоту матеріальної точки, треба кількість зроблених обертів  $N$ , які вона здійснила за час  $t$ , поділити на цей час:

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

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

Швидкість рівномірного руху по колу іноді ще називають **лінійною швидкістю**.

За період  $T$  матеріальна точка робить один оберт, тобто проходить шлях, що дорівнює довжині кола  $l = 2\pi r$ , тоді модуль лінійної швидкості її руху

визначається:  $v = \frac{2\pi r}{T}$  або  $v = 2\pi r \cdot n$ .





## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Як відомо, добове обертання Землі становить 24 год. З якою лінійною швидкістю рухаються точки поверхні Землі, розташовані на екваторі? Радіус Землі 6400 км. Вважати, що вісь обертання проходить крізь полюси.

## Розв'язання

Дано:

$$T = 24 \text{ год} = 86400 \text{ с}$$

$$R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$$

 $v = ?$ 

Вважатимемо обертання Землі рівномірним.

$$v = \frac{2\pi R}{T}; \quad [v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v = \frac{2 \cdot 3,14}{86400} \cdot 6,4 \cdot 10^6 = 47 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

**Відповідь:**  $v = 47 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Задача 2.** Шків електродвигуна діаметром 30 см робить 66000 обертів за 10 хв. Визначити обертову частоту, період обертання та лінійну швидкість точок, що лежать на ободі шківа.

Дано:

$$N = 66000$$

$$t = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

 $n = ?$ ,  $T = ?$  $v = ?$ 

## Розв'язання

Обертова частота:  $n = \frac{N}{t}; \quad n = \frac{66000}{600} = 110 \left( \frac{\text{об}}{\text{с}} \right);$

$$[n] = \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Період обертання:  $T = \frac{1}{n}; \quad T = \frac{1}{110} = 0,009 \text{ (с)}; \quad [T] = \frac{1}{\text{об/с}} = \text{с}.$

Лінійна швидкість:  $v = \frac{2\pi r}{T}; \quad v = \frac{6,28 \cdot 0,3}{0,009} = 104,7 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right); \quad [v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$

**Відповідь:**  $n = 110 \frac{\text{об}}{\text{с}}; \quad T = 0,009; \quad v = 104,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$



## Головне у цьому параграфі

Рух матеріальної точки по коловій траєкторії зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом, називають *рівномірним рухом по колу*. Швидкість рівномірного руху по колу іноді ще називають *лінійною швидкістю*. Лінійна швидкість руху тіла по колу спрямована по дотичній до даної точки кола, де розглядається рух тіла.



**Період обертання** – час одного повного оберту точки, що рухається по колу.

**Обертובה частота** – кількість обертів за одиницю часу.



## Запитання для самоперевірки

1. Чим відрізняються прямолінійні й криволінійні рухи?
2. Який рух називають рівномірним рухом по колу?
3. Що таке період і частота обертання?

### Вправа 8

**1 (д).** Якщо радіус колової орбіти штучного супутника Землі збільшити в 4 рази, то його період обертання збільшиться у 8 разів. У скільки разів зміниться швидкість руху супутника по орбіті?

**2 (в).** Хвилинна стрілка годинника у три рази довша від секундної. Обчислити співвідношення лінійних швидкостей кінців стрілок.

## § 15. Коливальний рух

Простими формами механічного руху, як ми з'ясували, вважають поступальний та обертальний рухи. Ще однією формою простого руху є коливальний рух.

- Коливання
- Характеристики коливань
- Роль коливальних процесів

**Коливання.** Коливальний рух або просто **коливання** – найпоширеніша форма руху в навколишньому світі й техніці (рис. 2.37). Коливаються дерева під дією вітру, поршні у двигуні автомобіля тощо. Ми можемо розмовляти й чути звуки завдяки коливанням голосових зв'язок, повітря і барабанних перетинки.

**Світло** – це також коливання, але **електромагнітні**. За допомогою електромагнітних коливань, які поширюються у просторі, відбувається радіозв'язок, радіолокація, телебачення.



Рис. 2.37. Коливальні процеси

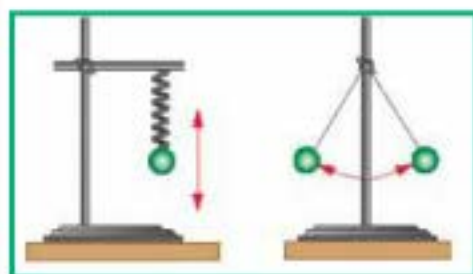


Рис. 2.38. Коливальні рухи

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

Розглянуті нами у 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 рухаються в протилежних напрямках по одній і тій самій траєкторії (рис. 2.38).

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

Розглянемо пружину, один кінець якої прикріплено до стіни, а на іншому закріплено тягарець (рис. 2.39, а). Якщо відхилити тягарець вліво і тим самим стиснути пружину (рис. 2.39, б), а потім відпустити тягарець, то він почне рухатись вправо під дією сили пружності. Але він не зупиняється у положенні рівноваги, а проходить далі (рис. 2.39, в). При цьому пружина розтягується і змушує тягарець рухатись вліво (рис. 2.39, г). Пружина знову стискається і тягарець повертається у крайнє ліве положення (рис. 2.39, д), здійснивши одне повне коливання.



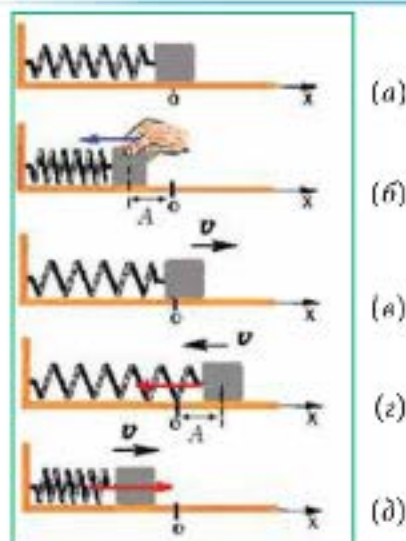


Рис. 2.39. Коливання тягарця на пружині

### Характеристики коливань.

**Амплітуда коливань** – максимальне відхилення тіла від положення рівноваги (рис. 2.39, б, г).

Позначається **амплітуда** великою латинською літерою  $A$ . **Одиниця** амплітуди в СІ – **метр**.

$$[A] = \text{м.}$$

**Значення амплітуди** залежить тільки від того, на яку відстань тіло було відведене від положення рівноваги перед початком коливань.

**Період коливань** – час одного повного коливання.

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

**Період** позначається великою латинською літерою  $T$ . **Одиниця** періоду коливань – **секунда**.

$$[T] = \text{с.}$$

**Частота коливань** – кількість коливань за одиницю часу.

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

де  $t$  – час, протягом якого відбувається  $N$  коливань.

**Частота** позначається малою грецькою літерою  $\nu$ . **Одиниця** частоти коливань – **герц**.

$$[\nu] = \text{Гц.}$$



Ця одиниця називається на честь німецького фізика Генріха Герца, який 1884 року експериментально довів існування електромагнітних хвиль.

Зв'язок між періодом коливань та частотою коливань:  $\nu = \frac{1}{T}$ .

**Роль коливальних процесів.** Коливальні процеси відіграють важливу роль у житті людини. Знання законів, за якими відбуваються коливання, стало підґрунтям для створення і розвитку сучасних засобів зв'язку, багатьох пристроїв і машин, музичних інструментів (рис. 2.40).



Рис. 2.40. Коливання камертона (а), струни (б), металевої пластинки (в)

Разом із тим, коливання можуть бути як корисними, так і завдавати шкоди спорудам, механізмам і здоров'ю людини. Наприклад, хвилі на поверхні води у річках і морях спричиняють розгойдування суден, що своєю чергою впливає на міцність конструкцій. Коливання, що виникають у будинках і мостах, стають іноді причиною їх руйнування (рис. 2.41). Це спонукає до подальшого вивчення та врахування механічних коливань і хвиль у різних галузях діяльності людини.

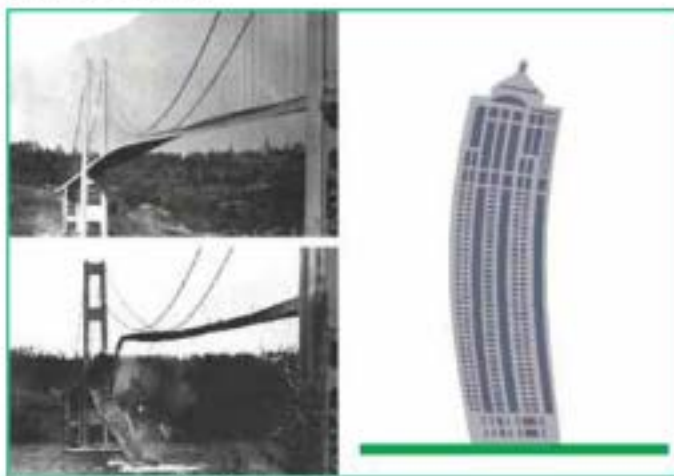


Рис. 2.41. Шкідливий вплив коливань



## Головне у цьому параграфі



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

**Період коливань** – час одного повного коливання  $T = \frac{t}{N}$ .

**Частота коливань** – кількість коливань за одиницю часу  $\nu = \frac{N}{t}$ .

**Амплітуда коливань** – максимальне відхилення тіла від положення рівноваги. Зв'язок між періодом коливань та частотою коливань:  $\nu = \frac{1}{T}$ .



## Запитання для самоперевірки

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.

## § 16. Маятники

Дослідження коливань у техніці – надзвичайно важлива справа. Дослідження коливань здійснюють за допомогою відповідних моделей – маятників.

- Види маятників
- Застосування маятників

**Види маятників.** Маятником називають тіло, що коливається під дією сили тяжіння або сили пружності. Існує кілька типів маятників: нитяний, фізичний, пружинний.

**Пружинним маятником** називається система, що складається з пружини, до якої прикріплено тіло. На рис. 2.42 зображено горизонтальний пружинний маятник. Період і частота коливань пружинного маятника залежать від маси тягарця та якості пружини – її здатності деформуватись.





Рис. 2.42. Горизонтальний пружинний маятник



Рис. 2.43. Математичний маятник

*Математичним маятником* називають точкове тіло, підвішене на невагомій і нерозтяжній нитці, яка здійснює рух у вертикальній площині під дією сили тяжіння (рис. 2.43).

Період коливань математичного маятника залежить від довжини нитки та його положення на земній поверхні.

**Застосування маятників.** Маятники широко використовуються в різних механізмах, зокрема годинниках, навігаційних приладах, сейсмографі (рис. 2.44).

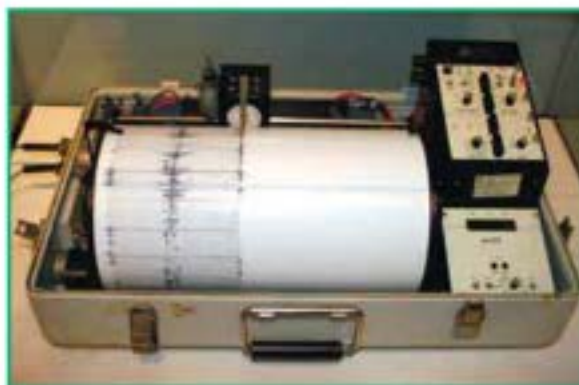


Рис. 2.44. Сейсмограф



У другій половині XIX ст. відомий французький учений **Жан Бернар Леон Фуко** побудував маятник, за допомогою якого можна переконатися, що Земля обертається. Це відбулося в Паризькому Пантеоні. Під його куполом дослідник підвісив металеву кулю масою 28 кг із закріпленим на ній вістрям на сталевому дроті довжиною 67 м. Кріплення маятника дозволяло йому вільно коливатися в усіх напрямках. Під точкою кріплення зроблено колову огорожу діаметром 6 м, по краю огорожі була насипана піщана доріжка таким чином, щоб маятник під час руху залишав на ній позначки. Період коливань маятника при такій довжині підвісу склав 16,4 секунди, при кожному коливанні відхилення від попереднього перетину піщаної доріжки становило приблизно 3 мм, за годину площина коливань маятника повернулася більш ніж на  $11^\circ$  за годинниковою стрілкою. Тобто приблизно за 32 години площина коливань маятника здійснює повний поворот та повертається в попереднє положення.



Рис. 2.45. Сучасний «маятник Фуко»



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке маятники? Якими вони бувають?
2. Кулька на нитці починає рухатися з точки А і здійснює коливання, проходячи послідовно точки А-В-С-В-А (рис. 2.46). Час руху між якими точками відповідає періоду коливань?

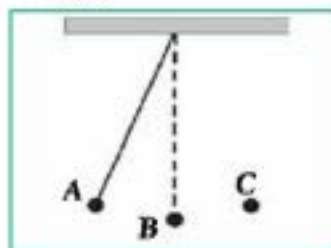


Рис. 2.46


**Вправа 9**


1 (с). Маятник два повних коливання здійснює за 2 с. За який час маятник здійснить 8 повних коливань?


2 (д). Частота коливань вантажу на пружині 0,5 Гц. Скільки коливань здійснить цей вантаж за 6 с?


3 (д). Маятник зробив 50 коливань за 1 хв 40 с. Визначити період і частоту коливань.


**Найголовніше у розділі 2**


 **Механічний рух** – це зміна з часом взаємного положення тіл чи їх частин у просторі.


 Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і приладу для відліку часу утворює **систему відліку**.


 **Поняття руху і спокою** – відносні й залежать від обраної системи відліку.


 Здійснюючи механічний рух, кожне тіло поступово переходить з однієї точки простору в іншу. Сукупність таких точок утворює неперервну лінію – **траєкторію**.


 Там, де розмірами тіла можна знехтувати, достатньо розглянути рух однієї точки тіла. **Матеріальна точка** – тіло, розмірами і формою якого в даній задачі можна знехтувати.

 За траєкторією руху легко визначити **шлях**, пройдений тілом. Шлях довжина траєкторії.

 **Переміщення** – напрямлений відрізок, який з'єднує початкове і кінцеве положення тіла, що рухалось.

 **Рівномірним прямолінійним рухом** називають такий рух тіла, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу тіло здійснює однакові переміщення. Під час прямолінійного руху тіла шлях і переміщення збігаються (за умови, якщо тіло не змінювало напрямку руху).

 **Швидкість руху тіла** під час прямолінійного рівномірного руху визначається відношенням пройденого шляху (або переміщення) до інтервалу часу, протягом якого він проходить цей шлях (переміщення): 
$$v = \frac{l}{t}.$$

 **Шлях**, який з певною швидкістю проходить тіло під час рівномірного прямолінійного руху, **прямо пропорційний часу**, за який було пройдено цей шлях:  $l = vt$ . Складаючи рівняння залежності координати рухомого





тіла від часу  $x = x_0 + vt$ , враховуємо ще й початкову координату тіла та напрям швидкості руху, що визначатиме знаки «+» та «-» у рівнянні руху.

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \text{ де } l_1, l_2, \dots, l_n - \text{ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу } t_1, t_2, \dots, t_n.$$

Для опису **нерівномірного руху** користуються поняттями середньої та миттєвої швидкості. **Середня швидкість** – визначається відношенням пройденого шляху до інтервалу часу руху тіла. **Миттєва швидкість** – визначає напрям і значення швидкості нерівномірного руху в даній точці траєкторії.

Рух матеріальної точки **по коловій траєкторії** зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом, називають **рівномірним рухом по колу**. Швидкість рівномірного руху по колу ще називають **лінійною швидкістю**. **Лінійна швидкість** руху тіла по колу спрямована по дотичній до даної точки кола, де розглядається рух тіла, та описується рівнянням:  $v = \frac{2\pi r}{T}$  або  $v = 2\pi r \cdot n$ . Рівномірний рух по колу характеризується періодом обертання  $T$  та частотою обертання  $n$ .

**Механічні коливання** – це рух тіла, під час якого положення і швидкість руху тіла (точки) повторюються через певні проміжки часу. Коливання характеризуються амплітудою коливань  $A$ , періодом коливань  $T$ , частотою коливань  $\nu$ .

**Частота коливань** обернено пропорційна періоду коливань:  $\nu = \frac{1}{T}$ .

### Завдання для самоперевірки з розділу «Механічний рух»

**1 (п).** Одиницею швидкості в СІ є...

А) 1 об/с; Б) 1 км/год; В) 1 м/с; Г) 1 Гц.

**2 (п).** Відхилення тіла від положення рівноваги під час коливань у будь-який момент часу називають...

А) шляхом; Б) амплітудою; В) періодом; Г) зміщенням.

**3 (с).** Який з наведених нижче рухів можна вважати рівномірним?

А) рух людини на гойдалці; Б) рух кінця хвилинної стрілки;

В) рух молекули повітря; Г) рух футболіста на полі під час гри.



**4 (с).** Перевести значення швидкості  $720 \text{ см/хв}$  у  $\text{м/с}$ .

А)  $0,12 \text{ м/с}$ ; Б)  $1,2 \text{ м/с}$ ; В)  $12 \text{ м/с}$ ; Г)  $7,2 \text{ м/с}$ .

**5 (с).** Обчислити середню швидкість страуса у  $\text{м/с}$ , якщо він за  $2 \text{ хв}$  пробігає відстань  $840 \text{ м}$ .

**6 (с).** Фігуристка за  $5 \text{ с}$  зробила  $10$  обертів. Який її період обертання?

**7 (д).** Установіть відповідність між довжиною пройденого шляху  $l$  та часом руху  $t$  за умови прямолінійного рівномірного руху тіла зі швидкістю  $36 \text{ км/год}$  :

	Довжина пройденого шляху, $l$		Час руху, $t$
А	$100 \text{ м}$	1	$30 \text{ хв}$
Б	$5 \text{ м}$	2	$20 \text{ с}$
В	$18 \text{ км}$	3	$0,2 \text{ с}$
Г	$200 \text{ см}$	4	$10 \text{ с}$
		5	$0,5 \text{ с}$

**8 (д).** На рисунку 2.48 зображено графіки залежності шляху від часу для двох велосипедистів, які рухаються вздовж одного шосе. Через який час від початку руху відстань між велосипедистами буде  $100 \text{ м}$ ? Яка швидкість руху велосипедистів?

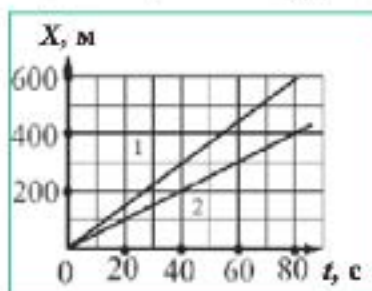


Рис. 2.48

**9 (д).** При підйомі на гору лижник пройшов  $300 \text{ м}$ , рухаючись із середньою швидкістю  $0,8 \text{ м/с}$ . Час руху з гори, цією ж траєкторією, становить  $3 \text{ хв}$ . Яка середня швидкість руху лижника на всьому шляху?

**10 (д).** Колесо велосипеда має діаметр  $50 \text{ см}$ . З якою швидкістю рухається велосипедист, якщо колесо обертається з частотою  $120 \text{ об/хв}$ ? Який період обертання колеса?

**11 (в).** Третю частину часу свого руху автомобіль їхав зі швидкістю  $90 \text{ км/год}$ , а решту часу зі швидкістю  $60 \text{ км/год}$ . Визначити середню швидкість руху автомобіля.



## РОЗДІЛ 3. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

В оточуючому світі ви спостерігаєте, як одні тіла впливають на інші. Тенісний м'яч змінює напрям польоту при ударі по ньому ракеткою, щоб рухатися, лижник відштовхується палицями, амортизатори автомобіля стискаються, коли до салону сідають пасажери. Можна бачити, як одні тіла впливають на інші й за відсутності безпосереднього контакту, наприклад, падіння будь-якого тіла на поверхню Землі, притягання або відштовхування намагнічених тіл. Саме взаємний вплив одних тіл на інші зумовлює розмаїття фізичних явищ в природі.

### § 17. Взаємодія тіл. Сила

- **Взаємодія тіл**
- **Види взаємодій. Сила**
- **Сили в механіці**

**Взаємодія тіл.** У фізиці взаємний вплив одних тіл на інші, внаслідок чого відбуваються певні зміни, називають взаємодією. Звичними для вас є взаємодії, під час яких рух тіл змінюється внаслідок їх зіткнення. Футбольний м'яч рухається внаслідок удару по ньому ногою, двері відчиняються від взаємодії з рукою, катаючись на роликах, ви відштовхуєтесь від асфальтової поверхні, до якої дотикаються ковзани. Таким чином, взаємодія відбувається, коли стикаються два рухомі тіла або рухоме тіло з нерухомим.

Разом з тим, у природі є багато прикладів взаємодій, під час яких тіла не дотикаються одне до одного. Подібним чином взаємодіють магніт і рухома металева кулька, що відхиляється від прямолінійної траєкторії внаслідок магнітної дії, наелектризовані султани, планети з Сонцем.



Рис. 3.1. Приклади взаємодій між тілами





**Види взаємодій. Сила.** Розмаїття фізичних явищ, пов'язаних із взаємодією тіл, викликає закономірне питання про те, скільки ж взаємодій різної фізичної природи та сил, що їм відповідають, існує?

Хоча у природі й техніці є велика кількість прикладів взаємодій, не всі вони є фундаментальними, тобто такими, які не можна звести до найпростіших. Сучасна фізична наука розрізняє чотири фундаментальні взаємодії: гравітаційну, електромагнітну, ядерну (сильну) та слабку. Загальною характеристикою взаємодії тіл є фізична величина, яка називається *силою*.

Фундаментальним взаємодіям відповідають фундаментальні сили, які визначають взаємодії як планет та цілих галактик, так і молекул, атомів та елементарних частинок. Фундаментальні сили відрізняються як за абсолютними значеннями, так і за іншими властивостями, наприклад, залежністю від відстані між тілами.

**Гравітаційні сили** особливі тим, що є завжди силами притягання та залежать від маси взаємодіючих тіл. Чим більша маса, тим сильніша гравітаційна взаємодія. Ці сили визначають взаємодію зір, планет та їх супутників, а також тіл на поверхні планет. Між тілами невеликих мас теж виникають гравітаційні взаємодії, але вони незначні і тому ними нехтують.

**Електромагнітні взаємодії і сили**, що їм відповідають, виникають між зарядженими частинками й тілами. Ці сили надзвичайно потужні й мають широку дію: від атомних ядер, атомів та молекул, до різноманітних тіл і живих організмів.

Специфічною особливістю ядерних сил та слабких взаємодій є їх обмежена в просторі дія. Так, **ядерні сили** виявляються в середині атомних ядер між їх складовими на відстанях, що не перевищують  $10^{-15}$  м, що менше за розміри атома. **Слабкі взаємодії** характерні для елементарних частинок і визначають їх взаємоперетворення.

Найслабкішою взаємодією, серед відкритих на сьогодні, є гравітаційна. Ядерна взаємодія на відстані своєї дії в багато разів перевищує силу гравітаційної взаємодії і є найсильнішою. Проте гравітаційні сили, так само, як і електромагнітні, мають безмежну дію, що й робить їх визначальними в космічному просторі.

*Не всі процеси у Всесвіті вдалося пояснити відомими взаємодіями, і тому тривають пошуки нових типів взаємодій.*

**Сили в механіці.** Історично поняття сили виникло з відчуття людиною м'язового зусилля. Для того, щоби підняти вантаж, необхідне певне напруження м'язів. Ступінь цього напруження різний для різних випадків і оцінюється поняттям «сила». Згодом людина навчилася замінювати власні зусилля зусиллями тварин (наприклад, використання кінного транспорту)



або природних явищ (водяний та повітряний млин, вітро- та гідроелектростанції). В усіх випадках мова йде про дію одного тіла на інше: кінь діє на воза, вода та вітер на лопаті. Щоб зрушити з місця будь-яке тіло (змінити його швидкість), кажуть, що до нього потрібно прикласти деяку силу або подіяти з деякою силою.

**Сила – фізична величина, яка є мірою механічної взаємодії між тілами.**

Так, щоби стиснути повітряну кульку, на неї потрібно подіяти з деякою силою.



Рис. 3.2. Щоби стиснути кульку, до неї потрібно прикласти силу

**Силу** позначають великою латинською літерою **F**. **Одиницею сили** в системі СІ є **ньютон** (Н). Свою назву одиниця сили отримала на честь видатого англійського вченого-фізика І. Ньютона.

$$[F] = \text{Н}.$$

В класичній механіці (механіці Ньютона) визначення фізичної природи сил не є головним завданням. Важливе значення для вирішення практичних задач мають умови виникнення сил, їх абсолютні значення та напрям, залежність від відстаней між тілами, що взаємодіють, швидкості руху тіл. Тому в межах класичної механіки силами у традиційному розумінні є прояви саме гравітаційної та електромагнітної взаємодії. Інші фундаментальні взаємодії (ядерні та слабкі) виявляються на відстанях, для яких не можна встановити точні кількісні характеристики і, відповідно, застосувати закони класичної механіки (закони Ньютона).

Для пояснення механічних явищ і процесів важливе значення мають саме сили пружності, тертя та гравітації. Сили пружності й тертя не є фундаментальними, оскільки їх зводять до фундаментальної електромагнітної взаємодії.



### Головне у цьому параграфі

Сучасна фізична наука розрізняє чотири фундаментальні взаємодії: гравітаційну, електромагнітну, ядерну (сильну) та слабку. Загальною характеристикою взаємодії тіл є фізична величина, яка називається **сила**.

**Сила – фізична величина, яка є мірою механічної взаємодії між тілами.** Силу позначають великою латинською літерою **F**. Одиницею сили в СІ є **ньютон** (Н).





Для пояснення механічних явищ і процесів важливе значення мають саме сили всесвітнього тяжіння, пружності й тертя.



## Запитання для самоперевірки

1. Що називають взаємодією?
2. Які типи взаємодій існують у природі?
3. Яка одиниця сили в СІ?
4. Визначте, яка з двох сил: 3,5 кН чи 700 Н більша і у скільки разів?
5. Яка сила спричиняє падіння на Землю крапель дощу? Які фізичні тіла взаємодіють у цьому випадку?
6. Чи можуть два фізичних тіла взаємодіяти, якщо вони не доторкаються безпосередньо одне до одного? Наведіть приклади.

### § 18. Результат дії сили: зміна швидкості або деформація тіла

*Майже всі фізичні тіла, які оточують людину, взаємодіють з іншими тілами. Яким чином можна впевнитися, що на тіло діє сила?*

- **Зміна швидкості руху тіл як прояв механічної взаємодії**
- **Деформація як результат дії сили**

**Зміна швидкості руху тіл як прояв механічної взаємодії.** Розглянемо на досліді, які характеристики змінюються під час взаємодії тіл. До лабораторного візка прикріпимо пружну пластинку. Загнемо її і зв'яжемо ниткою. Поставимо візок на стіл. Він перебуває у стані спокою відносно поверхні столу. Перепалимо нитку, яка зв'язує пружну пластинку. Пластинка розпрямиться, візок залишиться на попередньому місці, його швидкість не змінилася (рис. 3.3, а).

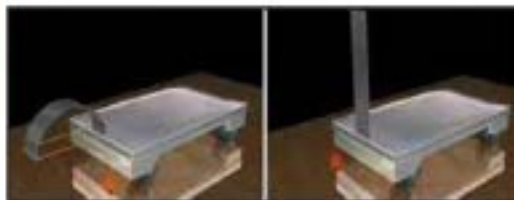


Рис. 3.3, а. Лабораторний візок залишається в стані спокою

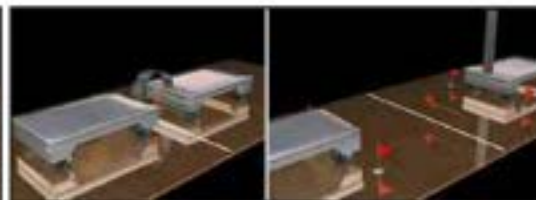


Рис. 3.3, б. При взаємодії двох лабораторних візків швидкість їх руху змінюється





Повторимо дослід, але впритул до першого візка поставимо на стіл другий візок. Знову перепалимо нитку. Пружна пластинка випрямиться, а обидва візки почнуть рухатися відносно столу та один відносно одного. Вони роз'їжджаються в різні боки (рис. 3.3, б). Щоби змінити швидкість візка, знадобився другий візок. Візки діють одночасно один на одного, тобто вони взаємодіють. *Дія одного тіла на інше не може бути односторонньою, обидва тіла діють одне на одне, тобто взаємодіють.*

Досліди показують, що швидкість тіла змінюється тільки в результаті дії на нього інших тіл. У фізиці часто не уточнюють, які тіла і як саме діють на дане тіло, а кажуть, що на тіло діє сила або до тіла прикладена сила.

*Отже, сила є причиною зміни швидкості руху.*

**Деформація як результат дії сили.** Під дією сили може змінюватися не тільки швидкість руху тіла, а і його форма. Якщо на пружину поставити важок, то під дією сили з його боку вона стискається (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Пружина деформується під дією сили, з якою на неї діє важок

Пружина не змінює швидкості, але змінює форму. Таким чином, взаємодія тіл може проявлятися не лише в зміні швидкості руху, але й у зміні форми або об'єму тіл. Зміна форми або об'єму тіла завжди супроводжується переміщенням його частин одна відносно іншої, яке називають **деформацією тіла**.

**Механічна взаємодія – взаємний вплив між тілами, результатом якого є зміна швидкості руху тіл або зміна їх форми.**

Сила характеризує взаємодію тіл, у результаті якої тіла змінюють свою швидкість або деформуються чи має місце те й інше одночасно.

Таким чином, ознаками дії сили на тіло можуть бути:

1) **динамічний прояв дії сили** – зміни швидкості тіл, які відбуваються в результаті дії сили; 2) **статичний прояв дії сили** – деформації, які виникають у тілах, що взаємодіють (стискання або розтягування пружини, прогинання поверхні, на яку діє тіло).



## Головне у цьому параграфі

Дія одного тіла на інше не може бути односторонньою, обидва тіла діють одне на одне, тобто взаємодіють.

Сила характеризує взаємодію тіл, у результаті якої тіла змінюють свою швидкість або деформуються чи має місце те й інше одночасно.



## Запитання та вправи для самоперевірки

1. Що є причиною зміни швидкості тіла?
2. Що називають механічною взаємодією?
3. Які характеристики тіла можуть змінюватися під дією сили?
4. Що таке деформація тіла?
5. Поясніть, чому пожежнику важко утримувати брансбойт, з якого витікає потужний струмінь води?
6. Наведіть приклади механічної взаємодії, коли разом зі швидкістю відбувається деформація тіл.

## § 19. Графічне зображення сил

- *Графічне зображення сил*
- *Рівнодійна. Додавання сил*

**Графічне зображення сил.** Сила характеризується абсолютною величиною (модулем) та напрямом (сила завжди діє в певному напрямі), тобто сила – векторна фізична величина. На рисунках сили зображають у вигляді напрямлених відрізків (векторів), які позначають  $F$  (рис. 3.5). Крім напрямку та абсолютного значення сила характеризується точкою прикладання. Початок напрямленого відрізка, що зображає силу, є точкою прикладання сили. Довжина цього відрізка вказує на величину абсолютного значення прикладеної сили. Тому на малюнках сили, що мають більшу величину (за модулем), зображають довшими напрямленими відрізками (рис. 3.6).

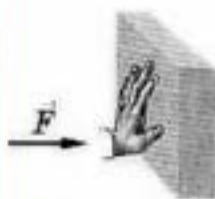


Рис. 3.5. На пластинку діє сила



Рис. 3.6. Сила  $F$  за абсолютним значенням (модулем) більша за силу  $P$



Потрібно враховувати, що сила визначає взаємодію, принаймні, двох тіл: до кожного з тіл, що взаємодіють, з боку іншого прикладена сила (рис. 3.7).

Отже, результат дії сили на тіло залежить від її модуля, напрямку і точки прикладання (рис. 3.8).

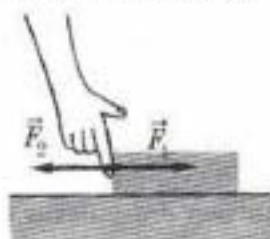


Рис. 3.7. До кожного з тіл, що взаємодіють між собою, з боку іншого тіла прикладена сила

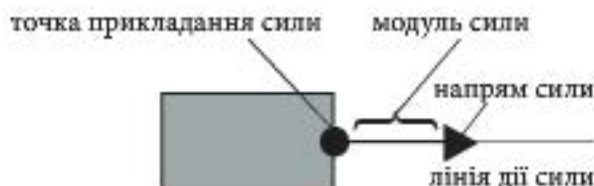


Рис. 3.8. Результат дії сили на тіло визначається її абсолютною величиною, напрямом і точкою прикладання

**Рівнодійна. Додавання сил.** Найчастіше в природі кожне фізичне тіло взаємодіє не з одним, а з декількома тілами. Тобто на тіло діє декілька сил (рис. 3.9). Сила  $F$ , що дорівнює геометричній сумі всіх сил, прикладених до тіла, називається **рівнодійною**. Найчастіше позначається великою літерою  $R$ .

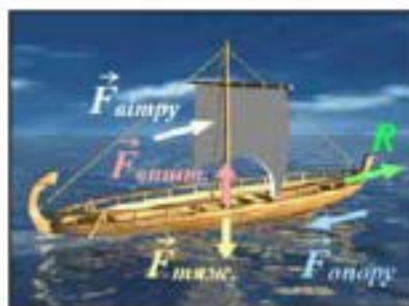


Рис. 3.9. На вітрильник діють декілька сил

Рівнодійною декількох сил є сила, яка чинить на тіло таку саму дію, як і ці одночасно діючі сили.

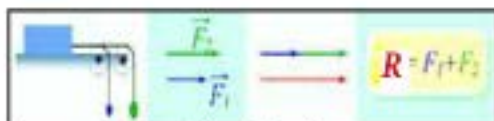
Для знаходження рівнодійної сил, що діють уздовж однієї прямої, потрібно: а) провести лінію дії цих сил; б) обравши точку прикладання цих сил, відкласти значення цих сил у певному масштабі зі збереженням напрямку їх дії; в) з кінця більшого напрямленого відрізка, побудувати менший напрямлений відрізок і з'єднати початок більшого і кінець меншого напрямлених відрізків. Рівнодійна двох сил, що діють уздовж однієї прямої в одно-





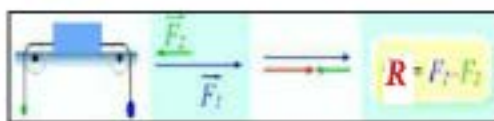
му напрямі, напрямлена в той самий бік, а її модуль дорівнює сумі модулів складових сил. Якщо сили направлені в один бік, то модуль рівнодійної сили дорівнює сумі модулів сил:  $R = F_1 + F_2$  (рис. 3.10).

Рівнодійна двох сил, що діють уздовж однієї прямої у протилежних напрямках, напрямлена в бік більшої за модулем сили, а її модуль дорівнює різниці модулів складових сил. Якщо сили направлені по одній прямій в протилежних напрямках, то модуль рівнодійної сили дорівнює різниці модулів сил:  $R = F_1 - F_2$  (рис. 3.11).



$$R = F_1 + F_2$$

Рис. 3.10. Знаходження рівнодійної двох сил, що діють уздовж однієї прямої в одному напрямі



$$R = F_1 - F_2$$

Рис. 3.11. Знаходження рівнодійної двох сил, що діють уздовж однієї прямої в протилежних напрямках



### Головне у цьому параграфі

Сила  $\vec{R}$  характеризується **абсолютною величиною** (модулем), **напрямом** (сила завжди діє в певному напрямі) і **точкою прикладання**.

Сила  $R$ , що дорівнює геометричній сумі всіх сил, прикладених до тіла, називається **рівнодійною**.

Якщо сили, що діють уздовж однієї прямої, направлені в один бік, то модуль рівнодійної сили дорівнює сумі модулів сил:  $R = F_1 + F_2$ .

Якщо сили направлені по одній прямій в протилежних напрямках, то модуль рівнодійної сили дорівнює різниці модулів сил:  $R = F_1 - F_2$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Як графічно зобразити силу, що діє на тіло?
2. Які сили називають однонаправленими?
3. Як обчислити модуль рівнодійної двох сил, направлених уздовж однієї прямої в один бік?
4. Як обчислити модуль рівнодійної двох сил, які діють уздовж однієї прямої в протилежних напрямках?

**Вправа 10**

1. Зобразіть у зошиті сили, абсолютна величина яких дорівнює 10, 15 та 20 Н. Скористайтесь масштабом 0,5 см – 5 Н.
2. Обчисліть модуль рівнодійної двох сил 15 Н і 20 Н, якщо вони направлені уздовж однієї прямої а) в один бік; б) у протилежні боки.
3. На тіло вздовж однієї прямої діють дві сили: 20 і 30 кН. Зобразіть ці сили графічно для випадків, коли їх рівнодійна дорівнює 10 і 50 кН. Масштаб виберіть самостійно.
4. При масштабі 1 см – 30 Н зобразіть графічно сили 60 Н і 90 Н, прикладені до тіла уздовж однієї прямої і направлені в протилежні боки. Обчисліть рівнодійну цих сил.
5. На тіло діє сила 9 Н. Силу якої абсолютної величини та в якому напрямі потрібно прикласти, щоб рівнодійна цих двох сил збігалася з першою силою за напрямом, а її модуль дорівнював 7 Н?
6. Розпилюючи залізний стрижень пилюкою, учень приклав зусилля: у горизонтальному напрямі 150 Н, а у вертикальному – 40 Н. Зобразіть графічно ці сили.
7. Двоє дітей тягнуть санчата, прикладаючи в напрямку руху сили 7 Н і 9 Н. Сила опору санчат 14 Н. Обчисліть рівнодійну цих сил. Визначте її напрям.

**§ 20. Явище інерції. Інертність тіла**

*М'яч, що лежить на Землі, не підстрибне і не покотиться, якщо його перед цим не штовхнути ногою або рукою. Також із власного досвіду кожен знає, що коли швидко біжиш, то миттєво зупинитися не можна. Що ж не дає почати рух і перервати його в одну мить без сторонньої допомоги?*

- **Явище інерції**
- **Інертність**

**Явище інерції.** Давньогрецький філософ Аристотель у IV столітті до н. е. відмітив: «причина руху тіла криється у дії, що чиниться на це тіло яким-небудь іншим тілом». Правда, це твердження було не зовсім правильним. Аристотель вважав, що природним положенням тіла є спокій, звичайно, відносно Землі. Всяке ж переміщення тіла відносно Землі відбувається при дії на тіло інших тіл. Якщо ж причини рухатися немає, то тіло повинне зупинитися і перейти у свій природний стан спокою. При цьому теорія Аристотеля ніяк не пояснювала, чому тіло, що рухається по шорсткій поверхні,





зупиняється набагато швидше, ніж те ж тіло, що рухається по гладкій поверхні.

Правильному розумінню природи даного явища ми завдячуємо великому італійському вченому Галілео Галілею (1564–1642). Галілей установив, що рівномірний і прямолінійний рух може відбуватися і за відсутності дії на тіло інших тіл. Він стверджував, що тіло рухається рівномірно й прямолінійно при відсутності опору цьому руху зі сторони інших тіл, такий рух відбувається нескінченно довго.

Відносно нерухомі тіла прагнуть зберігати стан спокою, а рухомі – продовжувати рух. Це явище назвали **інерцією**.

**Інерція** – це явище збереження швидкості тіла за відсутності дії інших тіл.

Тобто коли м'яч лежить на траві, його швидкість відносно Землі дорівнює нулю. І вона не зміниться без сторонньої допомоги. Коли м'яч котиться, він би так і котився собі з постійною швидкістю прямолінійно й нескінченно довго, коли б не трава, тертя об повітря і футболісти, що буцають його.

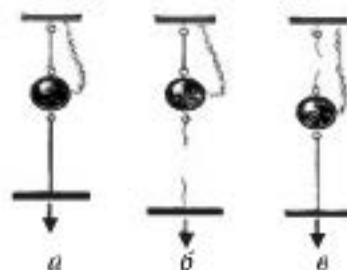
**Інертність.** Для зміни швидкості тіла на певну величину, необхідно, щоб на нього певний час діяло інше тіло. Цю властивість називають **інертністю**.

**Інертність** – це властивість тіла зберігати свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла.

Чим цей час більший, тим інертніше тіло. З двох взаємодіючих тіл те тіло більш інертне, яке повільніше змінює свою швидкість при взаємодії.

Наступний дослід показує, як проявляється інертність тіл і яку роль відіграє час взаємодії (рис. 3.12).

Рис. 3.12. Результат взаємодії залежить від часу дії



До підвісу на тонкій нитці підвішено кулю (рис. 3.12, а). Знизу до неї прикріплена друга така ж нитка. Якщо різко смикнути за нижню нитку, то вона обривається, а куля продовжує висіти на верхній нитці (рис. 3.12, б). Але якщо нижню нитку тягти, а не смикати, то обірветься верхня нитка і куля впаде (рис. 3.12, в). Дослід має таке пояснення, коли за нижню нитку смикають різко, то час дії на кулю виявляється настільки малим, що куля не





встигає значно збільшити свою швидкість (не встигає набрати швидкість) і зробити помітне переміщення вниз. Тому верхня нитка не обривається. Нижня ж нитка має малу інертність і при ривку отримує значну швидкість, тому її переміщення виявляється достатнім для розриву. Коли ж за нижню нитку тягти повільно, вона діє на кулю тривалий час, і за цей час куля встигає набутти таку швидкість, що її переміщення є достатнім для розриву і без того розтягнутої верхньої нитки.



### Головне у цьому параграфі

**Інерція** – це явище збереження швидкості руху тілом за відсутності дії інших тіл.

**Інертність** – це властивість, яку мають усі тіла. Вона полягає в тому, що для зміни швидкості тіла на певну величину необхідно, щоб на нього певний час діяло інше тіло.



### Запитання для самоперевірки

1. У чому різниця між інерцією та інертністю?
2. Поясніть призначення ременів безпеки для пасажирів автомобілів і авіапасажирів.
3. В якому випадку тіло називають більш інертним, а в якому – менш інертним?
4. Як в домашніх умовах можна довести наявність явища інерції тіл?

### Вправа 11

- 1(п). Чому водій, побачивши перехожого, що переходить перед ним дорогою, не може миттєво зупинити транспортний засіб?
- 2(с). Уявіть собі таку ситуацію: вершник швидко скаче на коні. Що буде з вершником, якщо кінь спіткнеться?
- 3(с). Для чого при гальмуванні автомобіля обов'язково вмикається заднє «червоне світло»?
- 4(с). Чому кинутий рукою м'ячик продовжує летіти вгору після того, як його випустили з рук?
- 5(с). Чому наковальні роблять масивними?
- 6(с). Чому при прополці не слід висмикувати бур'яни із землі занадто різким рухом, навіть якщо вони слабко утримуються в ґрунті?
- 7(д). М'яч, що спокійно лежить на столі вагона під час рівномірного руху потяга, покотився: а) вперед у напрямку руху потяга; б) назад стосовно напрямку руху; в) убік. На яку зміну в русі потяга вказує кожен з перерахованих випадків?



## § 21. Маса. Вимірювання маси тіла

При взаємодії двох тіл швидкості обох тіл завжди змінюються. Одне тіло може при взаємодії отримати швидкість значно більшу ніж інше. Наприклад, при пострілі з лука швидкість стріли значно більша за швидкість тятиви, яку вона отримує при взаємодії.

- Маса
- Вимірювання маси

**Маса.** Якщо два тіла взаємодіють між собою, то швидкості, що вони при цьому отримали, залежать від маси цих тіл. Чим тіло масивніше, тим меншу швидкість воно отримає при взаємодії (говорять, що тіло *більш інертне*). Чим тіло менш масивне, тим більшу швидкість воно отримає при взаємодії (*менш інертне*).

**Маса тіла** – кількісна фізична величина, що є мірою його інертності.

У подальшому вивчаючи фізику ви дізнаєтеся, що маса є не лише мірою інертності, а й гравітаційної взаємодії.

Масу позначають малою латинською літерою *m*. Одиницею маси в системі СІ є кілограм (кг).

$$[m] = \text{кг}$$

**Кілограм** – це еталон маси (рис. 3.13). Еталон кілограма зберігається в місті Севрі біля міста Парижа (в Міжнародній палаті мір і ваг).



Рис. 3.13. Еталон кілограма



Рис. 3.14. Лабораторні терези

На практиці застосовують й інші одиниці маси – грам, міліграм, тонну та ін.

**Вимірювання маси.** Вимірюють масу за допомогою терезів. На фотографії (рис. 3.14.) ви бачите наочний вигляд лабораторних терезів.

Розглянемо будову важільних терезів. Їх головною частиною є коромисло – стержень, який може вільно обертатися навколо осі, розміщеної по





середині нього. До середини коромисла прикріплено стрілку – вказівник. До кінців коромисла підвішуються шальки терезів. Якщо стрілка-вказівник фіксує нульове положення, то це означає, що шальки терезів і коромисло є в рівновазі й за допомогою терезів можна виконувати зважування. Тобто порівнювати масу зважуваного тіла з масою різновігів, що додаються до терезів і містяться у спеціальному ящику для їх зберігання.

Важільні терези відрізняються від мензурки, лінійки, термометра тим, що вони не мають шкали і для них не існує такого поняття, як ціна поділки. Про найменше значення, яке можна зафіксувати на терезах, судять за найменшою гиркою, використаною для зважування.

Існують важки різної маси, як 1, 2 кілограми, так і 100, 200, 500 грам та ін. Існують також спеціальні аптечні гирі в декілька грамів, міліграмів.

Різні терези призначені для зважування як дуже масивних тіл, так і тіл малої маси. Так, наприклад, з допомогою вагонних терезів можна визначити масу вагона від 50 т до 150 т. Малу комара (близько 1 мг) можна визначити з допомогою аналітичних терезів.

Нині досить широко для зважування є не механічні, а електронні терези, в яких є спеціальний датчик, що перетворює дію, спричинену тілом, у певний електричний сигнал. Але суть залишається такою ж – ми заздалегідь знаємо, яка дія тієї або іншої маси тіла на датчик, і тому можна по отримуваних від датчика сигналах судити про масу предмета за цифрами на табло.

Розрахунок маси тіла дуже великих об'єктів, таких як Земля, Сонце або Місяць, а також дуже дрібних об'єктів, атомів, молекул, роблять іншими способами – через вимір швидкостей та інших фізичних величин, що входять в різні закони фізики разом з масою.



### Головне у цьому параграфі

**Маса** – це фізична величина, що є мірою інертності даного фізичного тіла.

**Будь-яке тіло має масу.** Маса позначається символом  $m$ . За одиницю маси в СІ прийнято кілограм. Вимірювальний прилад – терези.



### Запитання для самоперевірки

1. Яка фізична величина є мірою інертності?
2. Як називається одиниця маси в СІ?
3. Що являє собою еталон маси?
4. Яка будова лабораторних терезів?





## § 22. Густина речовини

Чи пам'ятаєте ви жарт «Що важче? Кілограм цвяхів чи кілограм пуху?» Ми-то вже не попадемося на цей прийом, ми знаємо, що їх маса буде однаковою, а ось об'єми істотно відрізнятись. Чому ж це відбувається?

- **Густина**
- **Визначення об'єму, маси, густини речовини**
- \* **Густини речовини небесних тіл**

**Густина.** Чому різні тіла і речовини мають різну масу при однаковому об'ємі? Чи навпаки, однакову масу при різному об'ємі? Очевидно, що є якась характеристика, внаслідок якої речовини такі відрізняються одна від одної. У фізиці цю фізичну характеристику речовини називають **густиною**.

**Густина** – фізична величина, що визначає масу речовини в одиниці об'єму.

**Густина** позначають малою грецькою літерою  $\rho$ . **Одиницею густини** в системі СІ є **кілограм на кубічний метр**.

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

Для вимірювання густини рідин використовують **ареометр**.

Наприклад, густина  $900 \text{ кг/м}^3$  льоду означає, що куб льоду зі сторонами 1 метр має масу 900 кг.

**Визначення об'єму, маси, густини речовини.** Загальну формулу для обчислення густини можна записати так:

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

Як розрахувати густину речовини? Для цього треба знати об'єм тіла і масу тіла. Тобто ми вимірюємо масу речовини, об'єм, а потім отримані дані просто підставляємо у формулу і знаходимо потрібне нам значення густини речовини.

Масу тіла можна визначити, знаючи об'єм і густину тіла:  $m = \rho V$ .



Об'єм тіла можна визначити, знаючи масу і густину тіла:  $V = \frac{m}{\rho}$ .

Іноді використовують ще такі одиниці, як грам на кубічний сантиметр ( $\text{г/см}^3$ ).

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ще слід пам'ятати, що густина речовини різна в різних агрегатних станах, тобто в твердому, рідкому або газоподібному. Густина твердих тіл, найчастіше, більша за густину рідин і набагато більша за густину газів.

Одним, дуже корисним для нас, винятком є вода, яка, як ми вже розглядали, в твердому стані має меншу густину, ніж в рідкому. Саме внаслідок цієї дивної особливості води на Землі можливе життя. Життя на нашій планеті, як відомо, вийшло з океану. А якби вода була такою, як усі інші речовини, то вона в морях і океанах промерзла б наскрізь, лід, будучи густішим за воду, опустився б на дно і лежав там, не танучи. І тільки на екваторі в невеликій товщі води існувало б життя у вигляді декількох видів бактерій. Отже можна сказати спасибі воді за те, що ми існуємо.

**В таблицях (стор. 240) наведено густини деяких речовин.**

☼ **Густини речовини небесних тіл.** Значення густини речовини небесних тіл лежить у широких межах. Газ, із якого складаються величезні за розмірами газопилові хмари, має невисоку густину (кілька десятків атомів у кубічному сантиметрі простору). Хоча таке середовище і вважають хмарою, для нас це глибокий вакуум. Але саме з таких дуже розріджених хмар пилу і газу завдяки дії гравітації виникають зорі. Загалом увесь життєвий шлях зорі (рис. 3.15) пов'язаний з тим, що значення середньої густини речовини зростає. Спершу розріджена хмара газу і пилу стискається до стану протозорі (густина речовини зростає, бо зменшується об'єм тіла). Після народження зорі густина речовини якийсь час (він залежить від маси зорі) залишається стабільною. На кінцевих етапах існування зорі, коли вона перетворюється у білого карлика, нейтронну зорю чи чорну діру, значення густини зростає. Можна зрозуміти чому – розміри зорі різко зменшуються, тоді як маса зменшується не набагато від попередньої.



Рис. 3.15.  
Життєвий шлях  
зорі типу Сонця



Наприклад, значення середньої густини нейтронної зорі у  $10^{14}$  разів більше ніж густина води. Якщо врахувати, що маса такої зорі співмірна з масою Сонця, то легко зрозуміти – її розміри просто мізерні навіть у порівнянні із Землею. Діаметри нейтронних зір не перевищують кількох десятків кілометрів.

Середнє значення густини речовини Сонця нині становить  $1409 \text{ кг/м}^3$ . Але в кінці існування Сонця (це трапиться не раніше ніж через 4 мільярди років) воно зміниться. Це обумовлено тим, що Сонце перетвориться у зорю, яку називають *білим карликом*. Її маса буде майже такою, як і маса нинішнього Сонця, а от розміри суттєво зменшаться (у 100 разів).



### Головне у цьому параграфі

**Густина** – фізична величина, що визначає масу речовини в одиниці об'єму  $\rho = \frac{m}{V}$ .

Густину позначають малою грецькою літерою  $\rho$ . **Одиницею густини** в системі СІ є **кілограм на кубічний метр**  $\left\{ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right\}$ .

Для вимірювання густини рідин використовують **ареометр**.

Масу тіла можна визначити, знаючи об'єм і густину тіла:  $m = \rho V$ .

Об'єм тіла можна визначити, знаючи масу і густину тіла:  $V = \frac{m}{\rho}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Що характеризує фізична величина густина?
2. Які одиниці густини?
3. Поясніть, чому речовина в твердому стані має більшу густину, ніж в газоподібному.
4. Які способи визначення об'єму ви знаєте?
5. Як можна знайти масу тіла за його густиною та об'ємом?

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Стальна куля має масу 250 г і об'єм  $0,0005 \text{ м}^3$ . З'ясувати має куля порожнину чи суцільна?

**Дано:**

$$m = 250 \text{ г} = 0,25 \text{ кг}$$

$$V = 0,0005 \text{ м}^3$$

$$\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = ?$$

#### Розв'язування

Визначимо густину речовини кулі за даними в умові значеннями:  $\rho = \frac{m}{V}$ .





$$\rho = \frac{0,25}{0,0005} = 500 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right); \quad [\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Порівнюючи з табличним значенням густини сталі бачимо, що отримане значення менше – отже, куля має порожнину.

**Відповідь:** куля порожниста

**Задача 2.** Визначити масу тіла, якщо його об'єм  $0,35 \text{ м}^3$ , а його густина  $11300 \text{ кг/м}^3$ .

**Дано:**

$$V = 0,35 \text{ м}^3$$

$$\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$$

$m = ?$

**Розв'язування**

З формули густини  $\rho = \frac{m}{V}$ , маємо:  $m = \rho V$ .  
 $m = 11300 \cdot 0,35 = 3955 \text{ (кг)}$ .

$$[m] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 = \text{кг}.$$

**Відповідь:** маса тіла 3955 кг.

**Задача 3.** Взяли олово об'ємом  $V_1 = 0,1 \text{ дм}^3$  і мідь об'ємом  $V_2 = 1,5 \text{ дм}^3$  і сплавляли їх разом. Отримали сплав, який називається бронза. Визначити густину бронзи.

**Дано:**

$$V_1 = 0,1 \text{ дм}^3 =$$

$$1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 1,5 \text{ дм}^3 =$$

$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\rho_1 = 7,3 \text{ г/см}^3 =$$

$$7300 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 = 8,9 \text{ г/см}^3 =$$

$$8900 \text{ кг/м}^3$$

$\rho = ?$

**Розв'язування**

За визначенням густина тіла дорівнює  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$ .

Виразимо маси олова і міді з яких тіло через густини та об'єми  $m_1 = \rho_1 V_1$ ,  $m_2 = \rho_2 V_2$ .

$$\text{Тоді } \rho = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

Підставимо в отриману формулу числові значення:

$$\rho = \frac{7300 \cdot 1 \cdot 10^{-4} + 8900 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-4} + 1,5 \cdot 10^{-3}} \approx 8800 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right); \quad [\rho] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 + \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3 + \text{м}^3} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

**Відповідь:** густина бронзи  $8800 \text{ кг/м}^3$ .



## Вправа 12

1(с). Маса бульби картоплі 7 г. Її об'єм  $6 \text{ см}^3$ . Визначити густину бульби.

2(д). Кріт – виносить на поверхню за рік до 10 тонн землі з площі 1 га бе резового лісу. Справжня мініатюрна землерийна машина! Який об'єм землі густиною  $2000 \text{ кг/м}^3$  переробляє кріт за рік?

3(д). Звичайна корова дає в рік 3–5 тис. л молока, але існують і корови-рекордсменки, від яких надоюють до 20 тис. л. За добу від корови-рекордсменки отримали 82,15 л молока. Визначте масу молока, надоєну у рекордсменки за добу. Густина молока  $1028 \text{ кг/м}^3$ .

4(в). Об'єм міді  $V=1 \text{ дм}^3$ . Який об'єм цинку необхідно додати, щоб отримати сплав густиною  $8,5 \text{ г/см}^3$ ? (Скористатись таблицею густин твердих тіл).

## Експериментальне завдання

Візьміть шматок мила, що має форму прямокутного паралелепіпеда, на якому позначена його маса. Виконавши необхідні виміри, визначте густину мила.

## § 23. Сила тяжіння

Ми постійно бачимо і вже звикли, що тіла падають на Землю. Листя, краплі дощу, сніжинки, кинутий вгору або горизонтально м'яч, пролетівши якусь відстань, падають. Зазвичай це пояснюють їх важкістю. Наука пояснює це силою тяжіння до Землі усіх предметів, що перебувають поблизу неї.

- Сила тяжіння
- Математичне вираження сили тяжіння

**Сила тяжіння.** Якщо випустити камінь з рук – він впаде на землю (рис. 3.16, а). Те ж саме станеться і з будь-яким іншим тілом. Якщо м'яч кинути в горизонтальному напрямі, він не летить прямолінійно і рівномірно. Його траєкторією буде *крива лінія* (рис. 3.16, б).

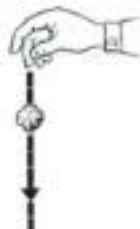


Рис. 3.16, а. Падіння каменя на землю

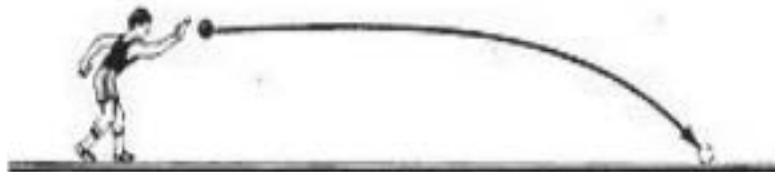


Рис. 3.16, б. Криволінійна траєкторія руху м'яча, кинутого горизонтально



У чому ж причина спостережуваних явищ? А ось у чому. *На ці тіла діє сила – сила притягання до Землі. Ця сила є причиною падіння тіл, піднятих над Землею. А також є причиною того, що ми ходимо по Землі, а не відлітаємо в безмежний космос. Листя дерев опускається на Землю тому, що Земля притягує його. Завдяки тяжінню до Землі тече вода в річках. Земля притягує до себе будь-які тіла: будинки, людей, Місяць, Сонце, воду в морях та океанах тощо. Кожне тіло притягується Землею. Земля притягує всі тіла до свого центра. Тому ця сила завжди направлена вертикально вниз, і її називають **силою тяжіння**. Вона має гравітаційне походження.*

**Сила тяжіння** – сила, з якою Земля притягує до себе тіла.

**Сила тяжіння** це векторна фізична величина. Позначається  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  (велика латинська літера  $F$  з нижнім індексом «тяж»).

Якщо порівнювати два тіла з різними масами, то на тіло з більшою масою діє більша сила тяжіння, а на тіло з меншою масою – менша. *У скільки разів маса першого тіла більша маси другого тіла, у стільки ж разів сила тяжіння, що діє на перше тіло, більша за силу тяжіння, що діє на друге тіло.* Коли маси тіл однакові, то однакові й сили тяжіння, що діють на них. **Сила тяжіння прямо пропорційна масі даного тіла.**

**Математичне вираження сили тяжіння.** Нам вже відомо, що сила тяжіння прямо пропорційна масі тіла. Щоби визначити *силу тяжіння*, що діє на тіло будь-якої маси, необхідно масу цього тіла помножити на 9,8 Н/кг.

$$F_{\text{тяж}} = gm$$

**Величину  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$**  називають **прискорення вільного падіння**. Детальніше з нею ви познайомитеся у 9 класі. У курсі фізики 7 класу цю величину називатимемо «**коефіцієнт  $g$** ».

Розв'язуючи задачі, для спрощення розрахунків, значення  $g$  округлюють до 10 Н/кг.



### Це цікаво знати

Зі збільшенням висоти над Землею значення коефіцієнта  $g$  поступово зменшується. Наприклад, на висоті 297 км воно дорівнює не 9,8 Н/кг, а 9 Н/кг. Зменшення коефіцієнта пропорційності означає, що і сила тяжіння в міру збільшення висоти над Землею теж зменшується. Також треба враховувати, що земна куля трохи сплюснута біля полюсів. Тому тіла, розміщені біля полюсів, розташовані трохи ближче до центра Землі. Внаслідок цього сила





тяжіння на полюсах трохи більша ніж на екваторі чи на інших широтах (рис. 3.17).

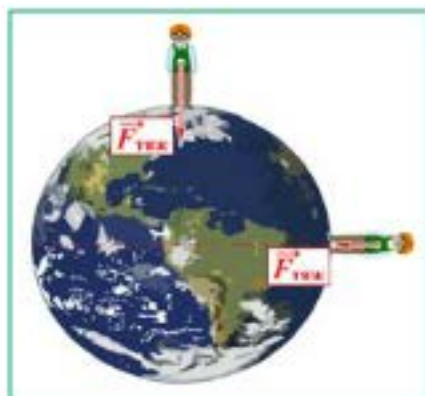


Рис. 3.17. Відмінності сили тяжіння на полюсах і на екваторі Землі



### Головне у цьому параграфі

**Сила тяжіння** – сила, з якою Земля притягує до себе тіла.

Щоби визначити силу тяжіння, що діє на тіло будь-якої маси, необхідно масу цього тіла помножити на коефіцієнт  $g$ :  $F_{\text{тяж}} = gm$ .

Величину  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$  називають **прискорення вільного падіння**. У курсі фізики 7 класу цю величину називатимемо «**коефіцієнт  $g$** ». Розв'язуючи задачі для спрощення розрахунків, значення  $g$  округлюють до  $10 \text{ Н/кг}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Що є причиною падіння всіх тіл на Землю?
2. Яку силу називають силою тяжіння?
3. За якою формулою обчислюється сила тяжіння?
4. Як зміниться сила тяжіння, при збільшенні маси падаючого тіла у 2 рази?
5. Як змінюється сила тяжіння при збільшенні відстані від поверхні Землі?



## Приклади розв'язування задач

**Задача.** Яка сила тяжіння діє на тіло масою 50 кг, що знаходиться на рівні моря?

Дано:

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$F_{\text{тяг}} = ?$$

**Розв'язування**

Скористаємось формулою для визначення

сили тяжіння  $F_{\text{тяг}} = mg$ .

$$F_{\text{тяг}} = 9,8 \cdot 50 = 490 \text{ (Н)}; [F_{\text{тяг}}] = \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \text{Н}.$$

**Відповідь:** на рівні моря сила тяжіння, що діє на камінь, становить 490 Н.

### Вправа 13

1 (с). Спортсмен масою 80 кг тримає штангу масою 60 кг. З якою силою він буде тиснути на підлогу? ( $g = 10 \text{ Н/кг}$ ).

2 (с). Визначити масу відра з водою, якщо на нього діє сила тяжіння 100 Н.

## Експериментальне завдання

1. Візьміть в руки аркуш паперу і відпустіть його. Поспостерігайте за його падінням. Тепер зімніть цей аркуш і знову відпустіть. Як зміниться характер його падіння?

2. Візьміть в одну руку металеву пластинку (наприклад, монету), а в іншу – паперову, трохи меншого розміру. Одночасно відпустіть їх. Чи однаковий час вони падатимуть? Тепер візьміть в руку металеву пластинку і згори на неї покладіть паперову (рис. 3.18). Відпустіть їх. Чому тепер вони падають одночасно?

Рис. 3.18. До експериментального завдання 2



## § 24. Види деформацій. Сила пружності

З попереднього параграфа вам відомо, що на всі тіла, які розміщені на Землі, діє сила тяжіння. На книгу, що лежить на столі, також діє сила тяжіння, але вона не провалюється крізь стіл, а перебуває у спокої. Підвісимо тіло на



нитку, нерухомо закріплену одним кінцем. Тіло не буде падати, хоча на нього діє сила тяжіння.

Чому ж у наведених прикладах тіла, які лежать на опорі або прикріплені до підвісу перебувають у спокої? Мабуть, сила тяжіння зрівноважується якоюсь іншою силою. Що ж це за сила і звідки вона береться?

- Сила пружності
- Види деформацій

**Сила пружності.** Проведемо дослід. На середину горизонтально розташованої дошки, що лежить на опорах, поставимо гирю (рис. 3.19). Під дією сили тяжіння гиря почне рухатися вниз і прогне дошку, тобто дошка деформується. При цьому виникає **сила**, з якою дошка діє на важок, розташований на ній. З даного дослідження можна зробити висновок, що на важок, окрім сили тяжіння, направленої вертикально вниз, діє інша сила. Ця сила направлена вертикально вгору. Вона і зрівноважила силу тяжіння. Цю силу називають **силою пружності**.

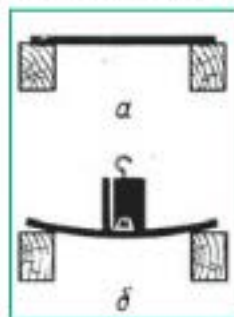


Рис. 3.19. Виникнення сили пружності

**Сила пружності виникає в тілі як результат деформації цього тіла.**

**Деформація** (від латинського *deformatio* – спотворення) – зміна форми чи розмірів тіла внаслідок зовнішньої дії на нього інших тіл.

**Сила пружності** – сила, що виникає внаслідок деформації тіла й перешкоджає їй.

Залежно від своїх властивостей деформоване тіло або відновлює початкову форму чи розміри за умови припинення зовнішньої дії, або ні. У першому випадку тіло називають **пружним** (приклади: пружина, гумовий шнур), у другому – **непружним, пластичним** (наприклад, стержень із пластиліну). Чим більше деформоване тіло, тим більша сила пружності, що виникає в ньому.





Причиною виникнення сили пружності є взаємодія між молекулами тіла. Якщо тіло стискувати, то відстань між молекулами зменшується і вони починають відштовхуватися одна від одної, щоб знову зайняти положення, що було до деформації. Якщо ж тіло розтягувати, то відстань між молекулами збільшується і вони починають сильніше притягуватися одна до одної, щоб зайняти положення, яке вони займали до деформації.

**Види деформацій.** Розрізняють п'ять видів деформацій: *стиску, розтягу, згину, зсуву, кручення*.

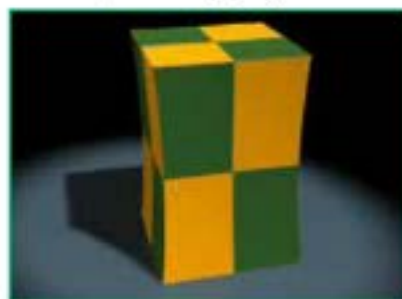
Прикладемо до прямого стрижня (рис. 3.20) дві сили, рівні за величиною і направлені по осі стрижня в протилежні сторони. Ці сили розтягнуть стрижень. Чим більша величина сили, прикладеної до стрижня, тим більше його розтягування. *Це деформація розтягу.*



Для наочного зображення деформацій застосуємо гумовий куб.

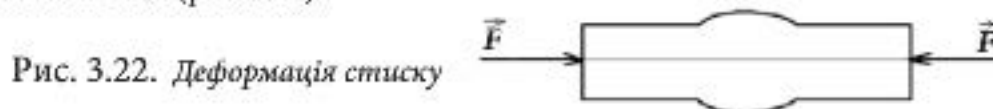
Розтягнувши його, ми відмітимо, що одночасно з видовженням куб скорочується в поперечних розмірах (рис. 3.21). Цей досвід показує, що при позадовньому розтягу збільшується довжина тіла, але скорочуються його поперечні розміри.

Рис. 3.21. Одночасно з видовженням куб скорочується в поперечних розмірах



Деформації розтягу зазнають троси, канати, ланцюги в підйомних транспортних засобах і мостах, балки будівельних ферм тощо.

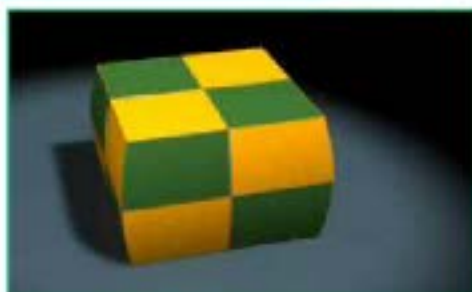
Якщо на стрижень діятимуть сили, спрямовані одна назустріч одній, то він стиснеться (рис. 3.22).



Довжина його при цьому зменшиться, а поперечні розміри збільшаться. *Це деформація стиску.* Отже, деформація стиску протилежна до деформації розтягу (рис. 3.23).

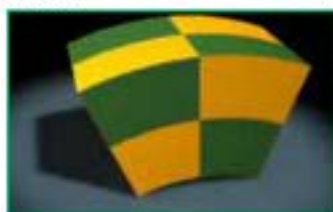


Рис. 3.23. Одночасно зі стисканням куба він розширюється в поперечних розмірах



Деформації стиску зазнають стовпи, колони, стіни, фундаменти будинків, стрижні будівельних ферм тощо.

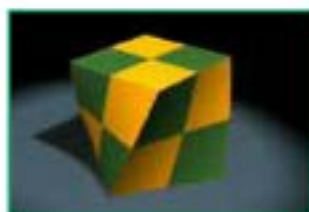
На рисунку 3.24 показані інші види деформацій: а) згину, б) зсуву, в) кручення.



а)



б)



в)

Рис. 3.24. Деформації згину, зсуву, кручення



### Головне у цьому параграфі

**Деформація** – зміна форми чи розмірів тіла внаслідок зовнішньої дії на нього інших тіл. Види деформацій: *стиск, розтяг, згин, зсув, кручення*.

**Сила пружності** – сила, що виникає внаслідок деформації тіла й перешкоджає їй.



### Запитання для самоперевірки

1. У яких випадках виникає сила пружності?
2. Що називають деформацією?
3. Назвіть види деформацій.
4. Чим відрізняються пружні деформації від пластичних?
5. Що відбувається з тілом при стисненні? Розтягу?



## § 25. Закон Гука. Пружинні динамометри

*Пружність – властивість тіла деформуватися під дією навантаження і відновлювати первинну форму і розміри після його зняття.*

- **Закон Гука**
- **Динамометри**

**Закон Гука.** Англійський учений **Роберт Гук**, сучасник Ньютона, встановив, як залежить сила пружності від деформації.

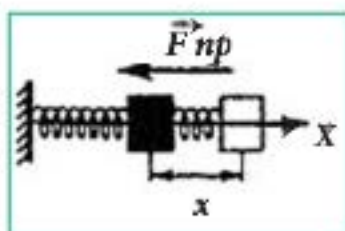


Рис. 3.25. В розтягнутій пружині виникає сила пружності

Розглянемо дослід. Закріпимо один кінець пружини (рис. 3.25). Початкова довжина пружини  $x = 10$  см. Якщо до вільного кінця пружини прикласти деформуючу силу, направлену в напрямі осі  $X$ , то вона видовжиться. Нехай деформуюча сила така, що довжина пружини стане рівною 11 см. Видовження пружини можна знайти так:  $\Delta x = 11$  см – 10 см = 1 см.

Якщо змінювати модуль сили, то змінюватиметься і довжина пружини, тобто її видовження  $\Delta x$ . Дослід показує, що **модуль (величина) сили пружності при розтягу (чи стиску) тіла прямо пропорційний його видовженню**.

Математично записати закон Гука можна так:

$$F_{\text{пр}} = k\Delta x,$$

де  $k$  – коефіцієнт пружності або жорсткості вимірюється у Н/м,  $\Delta x$  – видовження вимірюється у м.

**Динамометри.** На практиці часто доводиться вимірювати силу, з якою одне тіло діє на інше. Для вимірювання сили використовують прилад, який називається **динамометр** (від грецьк. *динаміс* – сила, *метрео* – вимірюю). Динамометри бувають різної будови. Основна їх частина – сталевая пружина, якій надають різної форми залежно від призначення приладу. Принцип роботи динамометра ґрунтується на порівнянні будь-якої сили із силою пружності пружини.





Простий динамометр (рис. 3.26) можна виготовити з пружини з двома гачками на кінцях, закріпленої на дощечці. Проградуїть пружина і буде простим динамометром. Дослід додавання двох сил, направлених паралельно, можна провести з допомогою циліндричного динамометра. Принцип дії та будова його зображені на рис. 3.27.

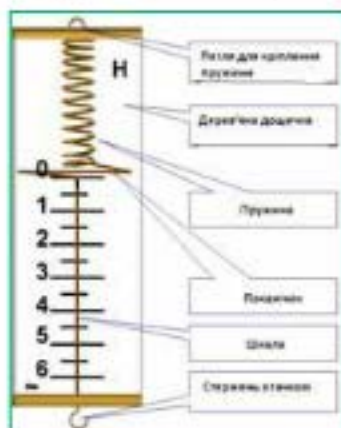


Рис. 3.26. Будова плоского лабораторного динамометра

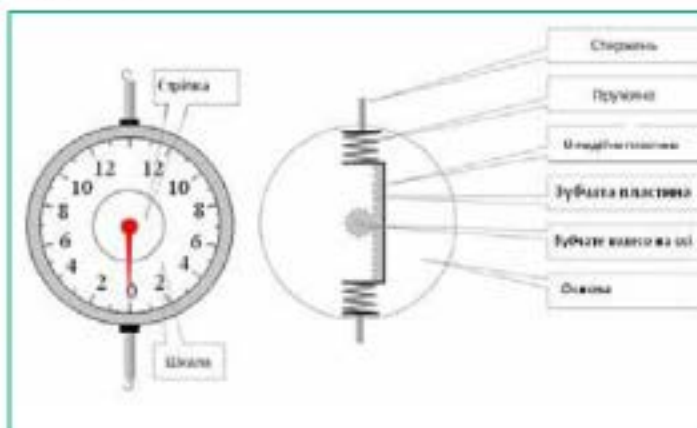


Рис. 3.27. Будова і принцип дії циліндричного динамометра

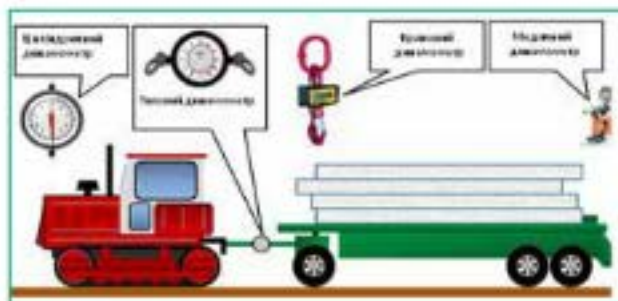
За допомогою динамометра вимірюється не лише сила тяжіння, але й інші сили, такі як – сила пружності, сила тертя тощо. Для вимірювання мускульної сили руки при стискуванні кисті в кулак застосовується (рис. 3.28) ручний динамометр-силомір.

Рис. 3.28. Динамометр-силомір



Для виміру великих сил, таких, наприклад, як тягові зусилля тракторів, тягачів, локомотивів, морських і річкових буксирів, використовують спеціальні тягові динамометри (рис. 3.29). Ними можна виміряти сили до декількох десятків тисяч ньютонів.

Рис. 3.29. Різні типи динамометрів





Застосовуються також ртутні, гідравлічні, електричні та інші динамометри. Останнім часом широко застосовуються електричні динамометри. У них є датчик, що перетворює деформацію в електричний сигнал.



### Це цікаво знати

Кубик масою  $m$  лежить на столі. Взаємодія кубика зі столом призводить до того, що він не падає вниз, як падав би зникни раптом стіл. Сила, з якою стіл (опора) діє на кубик, є **силою пружності**. Часто силу пружності називають **силою реакції опори**. Її прийнято позначати літерою  $N$ , а силу натягу нитки (троса) літерою  $T$ .

Сила реакції опори, як і сила пружності, завжди направлена проти тієї сили, яка спричинила зміну форми й розмірів тіла (рис. 3.30).

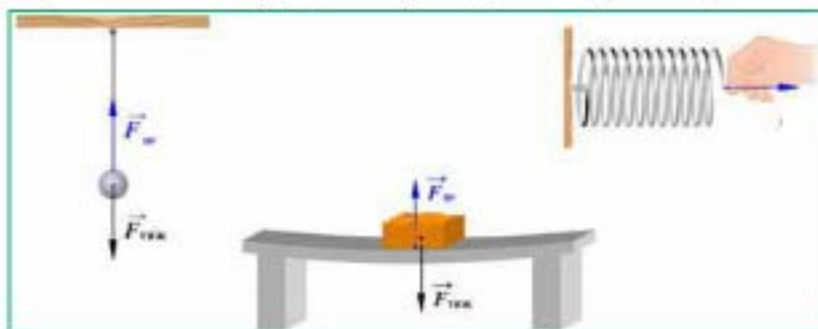


Рис. 3.30. Напрямок сили реакції опори

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Сила 40 Н розтягує пружину на 4 см. Яка сила розтягне цю пружину на 7 см?

Дано:	СИ
$F_1 = 40 \text{ Н}$	
$\Delta x_1 = 4 \text{ см}$	0,04 м
$\Delta x_2 = 7 \text{ см}$	0,07 м
$F_2 = ?$	

#### Розв'язування

Запишемо закон Гука для двох випадків:

$$F_1 = k\Delta x_1; F_2 = k\Delta x_2.$$

Оскільки пружина в обох випадках використовується одна і та ж, то виражаючи з першого виразу  $k$  і підставивши його у другий вираз, отримуємо:

$$F_2 = \frac{F_1 \Delta x_2}{\Delta x_1}; F_2 = \frac{40 \cdot 7 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-2}} = 70 \text{ (Н)}; [F_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

**Відповідь:**  $F_2 = 70 \text{ Н}$ .



## Задача 2

Якщо до гачка динамометра прикласти силу 3,5 Н, то довжина його пружини дорівнює 5,3 см; якщо силу 2,1 Н – то 4,1 см. Якою є довжина пружини при нульовому положенні вказівника динамометра?

Дано:

$F_1 = 3,5 \text{ Н}$

$x_1 = 5,3 \text{ см}$

$F_2 = 2,1 \text{ Н}$

$x_2 = 4,1 \text{ см}$

$x_0 = ?$

СІ

$0,053 \text{ м}$

$0,041 \text{ м}$

## Розв'язування

Запишемо закон Гука:

$F_1 = k\Delta x_1, \text{ де } \Delta x_1 = x_1 - x_0;$

$F_1 = k(x_1 - x_0).$

Аналогічно  $F_2 = k(x_2 - x_0).$

Виразимо з двох формул  $x_0$ :  $x_0 = \frac{F_1 x_2 - F_2 x_1}{F_1 - F_2};$

$$x_0 = \frac{3,5 \cdot 0,053 - 2,1 \cdot 0,041}{3,5 - 2,1} = 0,023 \text{ (м)}; \quad x_0 = \frac{H \cdot m - H \cdot m}{H - H} = m.$$

Відповідь: 2,3 см.



## Головне у цьому параграфі

**Модуль (величина) сили пружності** при розтягуванні (чи стискуванні) тіла **прямо пропорційний його подовженню**. Математично записати **закон Гука** можна так:  $F_{\text{пр}} = k\Delta x$ , де  $k$  – коефіцієнт пружності або жорсткість;  $\Delta x$  – видовження або величина деформації.

Для вимірювання сили використовують прилад, який називається **динамометр**.

Динамометри бувають різної будови. Основна їх частина – сталева пружина, якій надають різної форми залежно від призначення.



## Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте закон Гука. Що він визначає?
2. Які межі застосування закону Гука?
3. Який фізичний зміст коефіцієнта пружності?
3. Яка будова плоского лабораторного динамометра?
4. Де і з якою метою використовуються динамометри?





### Вправа 14

1(с). Під дією якої сили пружина, що має коефіцієнт жорсткості  $1 \text{ кН/м}$ , стиснулась на  $4 \text{ см}$ ?

2(д). Визначити видовження пружини, якщо на неї діє сила  $10 \text{ Н}$ , а коефіцієнт жорсткості пружини  $500 \text{ Н/м}$ .

3(д). Чому дорівнює коефіцієнт жорсткості стержня, якщо під дією вантажу  $1000 \text{ Н}$  він подовжився на  $1 \text{ мм}$ ?

4(д). До пружини причеплено вантажі  $1 \text{ Н}$ ,  $2 \text{ Н}$  та  $3 \text{ Н}$ . Якою повинна бути маса вантажу, щоб розтяг пружини був таким самим?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

5(д). Визначити силу, з якою гиря тисне на стіл (рис. 3.31).

6(д). Під дією сили пружності  $20 \text{ Н}$  видовження пружини дорівнює  $6 \text{ мм}$ . Яким буде видовження пружини під дією сили  $30 \text{ Н}$ ?

7(в). Які будуть покази верхнього і нижнього динамометрів, якщо їх з'єднати послідовно й підчепити вантаж  $5 \text{ Н}$ ? Масою динамометрів знехтувати.



Рис. 3.31.

До завдання 5

## § 26. Вага тіла. Невагомість

У своєму повсякденному житті ми доволі часто використовуємо поняття «**вага**». А чи замислювалися ви над тим, що воно означає? Відразу зазначимо, що поняття ваги у побуті й у фізиці є децю різними. У повсякденному житті ви можете почути «моя вага  $50 \text{ кг}$ ». Тобто під поняттям ваги у побуті доволі часто розуміють масу тіла. З точки зору фізики таке твердження є неправильним, оскільки вага тіла – це перш за все сила, а тому одиницею її є **ньютон**. Крім того, вага тіла може змінюватися залежно від руху тіла. Наприклад, ваша вага буде різною в залежності від того, чи рухаєтесь ви в ліфті з постійною швидкістю, чи зупиняєтесь. Про це та інше ви дізнаєтесь з цього параграфа.

- Вага тіла
- Явища зміни ваги
- Невагомість

**Вага тіла.** З попередніх параграфів вам уже відомо, що між Землею та тілами існує гравітаційна взаємодія, тобто тіла притягуються до Землі. Вна



слідок цього тіло, що перебуває на опорі, тисне на неї. Якщо фізичне тіло прикріплено до підвісу, то внаслідок притягання тіла до Землі підвіс також деформується.

**Вага** – сила, з якою тіло внаслідок притягання до Землі тисне на опору або розтягує підвіс.

Вагу тіла позначають великою латинською літерою  $P$ . Одиницею ваги в СІ є **ньютон**:  $[P] = \text{Н}$ .

Вага тіла, як будь-яка сила, є векторною величиною, тобто для того, щоб її задати, необхідно вказати чисельне значення, точку прикладання та напрям.

Якщо тіло перебуває в стані спокою чи рухається прямолінійно зі сталою швидкістю, вага тіла чисельно дорівнює силі тяжіння, тобто

$$P = F_{\text{тяж}} = mg.$$

**Точка прикладання ваги** розташовується на опорі чи підвісі у місці їх дотику з тілом (рис. 3.32), у той час як точка прикладання сили тяжіння розташовується на тілі. Зазвичай її зображують від центра тіла.

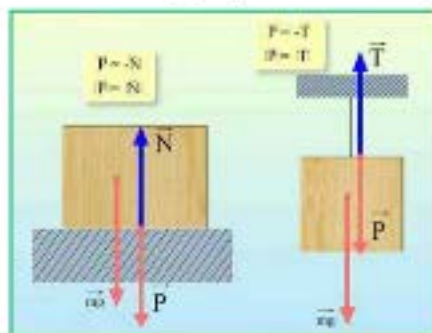


Рис. 3.32. Точка прикладання ваги розташовується на опорі чи підвісі у місці їх дотику з тілом

**Явища зміни ваги.** Виявляється, що на відміну від маси та сили тяжіння, вага тіла може змінюватися під час зміни швидкості тіла. Розгляньте рисунок 3.33. З рисунка видно, що коли динамометр з прикріпленим тілом залишаються у стані спокою відносно Землі, вага тіла становить 1,5 Н. **Під час різкого піднімання тіла** покази динамометра досягають 2 Н, а отже, вага тіла **збільшується**. **Під час різкого руху тіла донизу** покази динамометра становлять близько 1 Н, а отже, вага тіла **зменшується**. Збільшення ваги тіла, що виникає під час збільшення швидкості руху системи тіла й опори чи підвісу, називають **перевантаженням**. Перевантаження відчувають космо-



навти, льотчики при виконанні фігур вищого пілотажу і ми з вами в ліфті, коли ліфт збільшує швидкість при підйомі вгору.

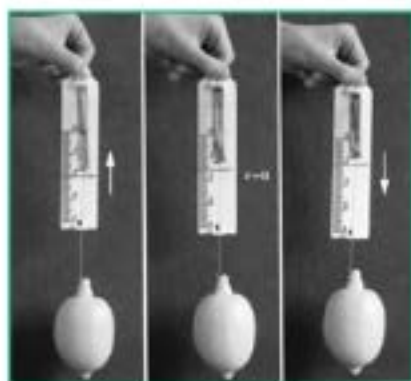


Рис. 3.33. Вага тіла залежить від зміни швидкості руху тіла

**Невагомість.** Якщо під час різкого руху донизу вага тіла зменшується, то логічно постає запитання, а чи може вага зменшитися до нуля. Виявляється, так. Це можливо за умови, коли тіло буде здійснювати вільне падіння. Такий стан тіла називають невагомістю. У стані невагомості перебувають парашутисти, які, вистрибнувши з літака, рухаються лише під дією сили тяжіння (до розкриття парашута). Стан невагомості можете відчути і ви, стрибаючи зі стільця на підлогу.



Рис. 3.34. Парашутист у стані невагомості



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке називають вагою тіла у фізиці?
2. Яка одиниця ваги?
3. Коли вага чисельно дорівнює силі тяжіння?
4. Назвіть відмінності графічного зображення сили тяжіння та ваги тіла.
5. Що називають перевантаженням? Наведіть приклади збільшення ваги тіла.
6. Наведіть приклади, коли вага тіла зменшується?
7. Коли вага фізичного тіла дорівнює нулю?





## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** На столі стоїть чайник з водою, маса якого 1,5 кг. Визначити силу тяжіння і вагу чайника. Показати ці сили на малюнку. Зобразити ці сили графічно.

Дано:

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$F_{\text{тяж}} = ?$$

$$P = ?$$

### Розв'язування

$$F_{\text{тяж}} = gm$$

$$P = gm$$

$$F_{\text{тяж}} = P = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ (Н)}$$

Зобразимо ці сили графічно. Для цього, виберемо масштаб. Нехай сила 3 Н буде зображатись відрізком довжиною 0,3 см. Тоді силу в 15 Н необхідно накреслити відрізком довжиною 1,5 см.

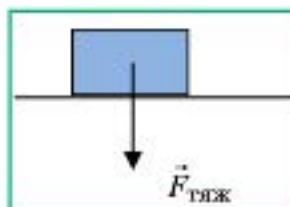
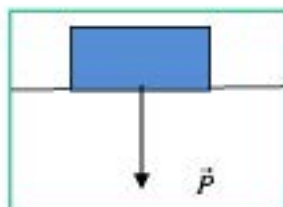


Рис. 3.35. До задачі 1

**Відповідь:**  $F_{\text{тяж}} = P = 15 \text{ Н}$ .

**Задача 2.** Вага порожнього відра 15 Н. Якою буде вага цього відра з водою, якщо його об'єм 12 л?

Дано:

$$P_1 = 15 \text{ Н}$$

$$V_1 = 12 \text{ л}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$P_2 = ?$$

СИ

$$1,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

### Розв'язання

Маса води у відрі  $m_1 = \rho V_1$

Вага води у відрі  $P = m_1 g = \rho V_1 g$

Вага відра з водою  $P_2 = P + P_1 = \rho V_1 g + P_1$

$$P_2 = 1000 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 10 + 15 = 135 \text{ (Н)}$$

$$P_2 = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + \text{Н} = \text{Н} + \text{Н} = \text{Н}$$

**Відповідь:** вага відра з водою  $P_2 = 135 \text{ Н}$ .



### Вправа 15

1 (с). Спортсмен масою 80 кг підняв штангу 60 кг. З якою силою він тисне на підлогу?

2 (с). На підлозі лежать три кулі. Маса однієї кулі 2 кг, другої 3 кг, третьої 5 кг. Яка з трьох куль має найбільшу вагу?

3 (с). Назвіть сили, які діють на пружину динамометра (див рисунок до задачі). Визначіть чисельне значення цих сил. Вкажіть напрям цих сил і точки прикладання.

4 (д). Вага мідної кулі об'ємом  $128 \text{ см}^3$  дорівнює 8,5 Н. Установіть чи є ця куля порожниста?

5 (в). У творі «Перші люди на Місяці» Г. Уелс описує момент старту з поверхні Землі до Місяця. «Відчувся легкий поштовх, почулося клацання, неначе в сусідній кімнаті відкрили пляшку шампанського, і слабкий свист. Я відчув величезну напругу, мені здалося, що ноги у мене немов налиті свинцем». Дію якого явища відчували на собі мандрівники?



Рис. 3.36.

До задачі 3

### \* Завдання для допитливих

1. Визначте вагу тіла, що лежить на чашці терезів.
2. Побудуйте в масштабі вектори сил, що діють на тіло. (Для приблизних розрахунків прийняти, що на тіло масою 100 г діє сила тяжіння 1 Н) (рис. 3.37).

Рис. 3.37.



### §27. Тертя. Сила тертя

- Тертя
- Сили тертя
- Тертя в природі і техніці

**Тертя.** З дитинства вам знайома ситуація: санчата, скотившись із гірки, врешті-решт зупиняються. Зупиниться велосипед, якщо ви не будете кру



тити педалі, причому чим більш слизькою буде дорога, тим довше триватиме рух. Проте, з другого боку, якщо дорога буде слизькою, наше пересування по ній буде ускладненим. Гадаємо, що ви зрозуміли, пояснити перебіг наведених явищ можна наявністю *різної сили тертя*.

**Сила тертя** – сила, що виникає вздовж поверхні дотику тіл і перешкоджає їх відносному руху.

Перш за все з'ясуємо причину виникнення сили тертя. Виявляється, навіть гладенькі на вигляд поверхні тіл мають нерівності й подряпини (рис. 3.38). Коли одне тіло рухається по поверхні іншого, ці нерівності чіпляються одна за одну. Проте коли зменшити до мінімуму шорсткість поверхні, сила тертя зростає. Отже, є ще одна причина виникнення сили тертя. Поміркуємо в чому вона полягає. Виявляється, зменшуючи нерівності на поверхні тіл, ми зменшуємо відстані між молекулами настільки, що вони починають притягуватися між собою і тим самим утруднюють рух одного тіла вздовж поверхні іншого. Отже, **сила тертя виникає з двох причин:**

- шорсткість поверхонь тіл;
- взаємодія молекул дотичних поверхонь.

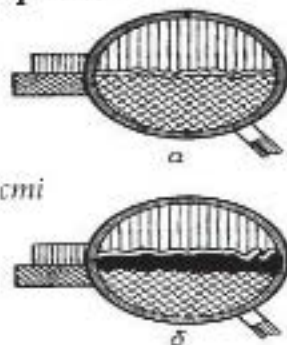


Рис. 3.38. Навіть гладенькі тіла мають нерівності й подряпини, які під час руху тіл чіпляються одна за одну.

Виявляється, що сила тертя не залежить від площі дотичних поверхонь тіл та їх положення одне відносно одного.

**Сили тертя.** Розрізняють декілька видів тертя: **тертя спокою**, тобто сила тертя, коли тіла не рухаються одне відносно одного; **тертя ковзання**, коли одне тіло ковзає по поверхні іншого; **тертя кочення**, коли одне тіло котиться по поверхні іншого.

Розглянемо більш детально кожну з названих сил. Спробуйте зрушити з місця стілець, що стоїть на підлозі. Для того, щоб це зробити, вам доведеться докласти певних зусиль. Якщо докладена вами сила буде занадто малою, стілець так і не рушить з місця, оскільки його руху перешкоджатиме сила тертя спокою. Сила тертя спокою направлена завжди проти напрямку сили, яка намагається зрушити з місця тіло. **Сила тертя спокою** за величиною





завжди дорівнює зовнішній силі, що діє на тіло, і направлена в протилежну сторону до цієї сили. Чим більшою буде сила, яка намагається зрушити з місця тіло, тим більшою буде сила тертя спокою. Існує максимальна величина сили тертя спокою.

**Силу тертя можна виміряти з допомогою динамометра** (рис. 3.39). Коли тіло перебуває у стані спокою, покази динамометра чисельно дорівнюватимуть значенню сили тертя спокою. Помітивши положення стрілки у той момент, коли тіло рушає з місця, можна визначити величину максимальної **сили тертя спокою**. Якщо ж одне тіло ковзатиме вздовж поверхні іншого, покази динамометра дорівнюватимуть значенню сили тертя ковзання.

Рис. 3.39. Вимірювання сили тертя



**Сила тертя ковзання** виникає вздовж поверхні дотику тіл, які рухаються одне відносно одного, при цьому відбувається гальмування їх руху. Сила тертя ковзання напрямлена вздовж поверхонь дотику тіл протилежно до швидкості їх руху (рис. 3.40).

Рис. 3.40. Сила тертя ковзання напрямлена вздовж поверхонь дотику тіл протилежно до швидкості їх руху



Експериментально встановлено, що **сила тертя ковзання прямо пропорційна чисельному значенню сили реакції опори**. Дійсно, чим важче тіло, тим більшою є сила реакції опори, на якій міститься це тіло, і тим важче нам зрушити це тіло з місця.

Під час руху тіла по горизонтальній поверхні сила тертя визначається за формулою:

$$F_{\text{тр}} = \mu mg,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання.

**Коефіцієнт тертя ковзання** – коефіцієнт пропорційності між силою тертя та силою реакції опори. Це безрозмірна величина, значення якої залежить від матеріалу тіл, що дотикаються, та якості їх поверхні.



Рис. 3.41. Сила тертя кочення

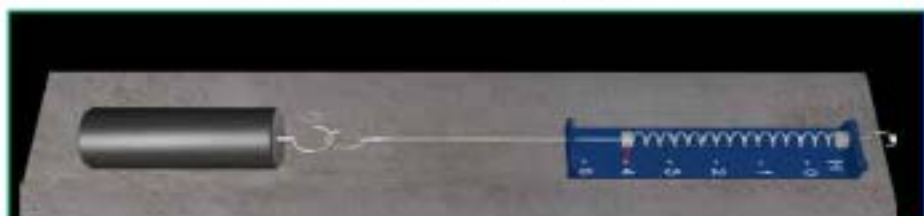


Рис. 3.42. Сила тертя ковзання

Силу тертя, яка виникає під час кочення одного тіла по поверхні іншого називають **силою тертя кочення**. Розгляньте уважно рис. 3.41 та 3.42 та порівняйте сили тертя, які виникають під час кочення та ковзання одного і того ж сталюого циліндра по поверхні одного і того ж стола. Гадаємо, що ви молодці й зробили правильний висновок, що за рівних умов (сила тиску на стіл, матеріал тіла та поверхні) сила тертя кочення набагато менша **сили тертя ковзання**. Виявляється, що під час кочення сталевих коліс по сталевих рейках тертя кочення приблизно в 100 разів менше ніж тертя ковзання. Тому в механізмах прагнуть замінити тертя ковзання тертям кочення, застосовуючи так звані **кулькові або роликові підшипники** (рис. 3.43).



Рис. 3.43. Будова підшипників

**Тертя в природі і техніці.** У природі і техніці тертя має велике значення. Тертя може бути як корисним, так і шкідливим. Коли сила тертя є корисною, її намагаються збільшити, коли шкідливою – навпаки, зменшити. Наприклад, за відсутності сили тертя пересування людини і тварин було б



неможливим, оскільки під час ходи ми відштовхуємося від поверхні. Коли тертя між підошвою взуття і поверхнею, по якій ми пересуваємося, є малим, наприклад, коли пересуваємося по льоду, відштовхуватися від землі дуже складно. Для збільшення сили тертя збільшують шорсткість поверхонь дотику: тротуари посипаються піском, а поверхню взуття роблять більш рельєфною. Між іншим, чому поверхню транспортуючої стрічки біля каси в супермаркеті роблять з гуми, а не з гладкого матеріалу?

Сила тертя зупиняє автомобіль при гальмуванні, без тертя спокою він не зміг би стояти на місці й почати рух. Щоби збільшити тертя, поверхню шин у автомобіля роблять з ребристими виступами.

Виявляється, що у багатьох рослин і тварин для збільшення сили тертя на поверхні їх деяких органів є шорсткими, наприклад, вусики рослин, хобот слона, хвости повзучих тварин тощо.

Проте існування сили тертя може мати і шкідливі наслідки, тому виникає потреба її зменшувати. Наприклад, сила тертя спричинює нагрівання та зношення рухомих частин машин і механізмів. Для зменшення сили тертя дотичні поверхні роблять гладкими й вкривають мастилом. Шар мастила роз'єднує поверхні дотику. Мастило ж у більшості випадків рідке, а тертя шарів рідини менше, ніж твердих поверхонь. Наприклад, мале тертя під час катання на ковзанах по льоду пояснюється також дією мастила – тонкого шару води, що утворюється під час руху ковзанів.



### Це цікаво знати

**Тертя в житті рослин, тварин і людини.** В житті багатьох рослин тертя грає позитивну роль. Наприклад, ліани, хміль, горох, боби та інші виткі рослини завдяки силі тертя можуть чіплятися за опори, що є поблизу, та утримуватися на них, тягнучись до світла. Між опорою і стеблом виникає досить велике тертя, оскільки стебла багаторазово обвивають опори і дуже щільно прилягають до них (рис. 3.44).



Рис. 3.44. Деякі рослини завдяки силі тертя можуть чіплятися за опори

Таким рослинам як реп'яхи тертя допомагає розповсюджувати насіння, яке має колючки з невеликими гачками на кінцях. Ці колючки зачіплюються за хутро тварин і разом з ними переміщуються. Насіння ж гороху, горіхи





завдяки своїй кулястій формі та малому тертю кочення можуть легко переміщуватися самі.

Організми багатьох живих істот пристосувалися до тертя, навчилися його зменшувати або збільшувати. Тіло риб має обтічну форму і покрите слизом, що дозволяє їм досягати великої швидкості пересування. Шорсткий покрив моржів, тюленів, морських левів допомагає їм пересуватися по суші і крижинах. Наявність суглобової рідини зменшує тертя у суглобах людини та тварин (рис. 3.45).

Рис. 3.45. Наявність суглобової рідини зменшує тертя у суглобах людини та тварин



### Головне у цьому параграфі

**Сила тертя** – сила, що виникає вздовж поверхні дотику тіл та перешкоджає їх відносному руху.

Виділяють дві причини виникнення тертя: шорсткість поверхонь, взаємодія молекул дотичних поверхонь.

Розрізняють декілька видів тертя: **тертя спокою**, **тертя ковзання**, **тертя кочення**.

**Сила тертя спокою** за величиною завжди дорівнює зовнішній силі, що діє на тіло, і направлена в протилежну сторону. Існує максимальна величина сили тертя спокою, перевищуючи яку ми помічаємо, що тіло зрушило з місця.

**Сила тертя ковзання** – виникає під час руху одного тіла по поверхні іншого. Сила тертя ковзання напрямлена уздовж поверхні дотику тіл, протилежно швидкості їх руху.

Під час руху тіла по горизонтальній поверхні сила тертя визначається за формулою:

$$F_{\text{тер}} = \mu mg,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання, коефіцієнт пропорційності між силою тертя та силою реакції опори. Це безрозмірна величина, значення якої залежить від матеріалу тіл, що дотикаються, та якості їх поверхні.

Силу тертя, яка виникає під час кочення одного тіла по поверхні іншого, називають **силою тертя кочення**.



## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Для рівномірного переміщення саней з вантажем по снігу треба прикласти горизонтальну силу 24 Н. Визначити вагу саней з вантажем, якщо сила тертя становить 0,08 загальної ваги.

### Розв'язання

Дано:

$$F = 24 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тер}} = 0,08 \cdot P$$

$$P = ?$$

Сила, з якою переміщують сани, дорівнює силі тертя

$$F_{\text{тер}} = F$$

Враховуючи, що  $F_{\text{тер}} = 0,08 \cdot P$

отримуємо

$$P = F_{\text{тер}} / 0,08;$$

$$P = 24 / 0,08 = 300 \text{ (Н)};$$

$$|P| = H.$$

**Відповідь:**  $P = 300 \text{ Н}$

**Задача 2.** Під час рівномірного переміщення бруска масою 3 кг динамометр показав силу тертя 6 Н. Якою буде сила тертя, якщо на брусок поставити вантаж масою 4 кг?

### Розв'язання

Дано:

$$m_1 = 3 \text{ кг}$$

$$F_{\text{тер}1} = 6 \text{ Н}$$

$$m_2 = 4 \text{ кг}$$

$$F_{\text{тер}2} = ?$$

Запишемо формули для розрахунку сили тертя у випадку бруска й бруска з вантажем

$$F_{\text{тер}1} = \mu m_1 g$$

$$F_{\text{тер}2} = \mu (m_1 + m_2) g$$

Виразимо добуток  $\mu g$  з першого рівняння  $\mu g = \frac{F_{\text{тер}1}}{m_1}$  й підставимо в друге

$$F_{\text{тер}2} = (m_1 + m_2) \frac{F_{\text{тер}1}}{m_1}; \quad F_{\text{тер}2} = (3 + 4) \frac{6}{3} = 14 \text{ (Н)};$$

$$F_{\text{тер}2} = (\text{кг} + \text{кг}) \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \text{Н}$$

**Відповідь:** Сила тертя буде 14 Н.



1. Які сили називають силами тертя?
2. Назвіть причини сили тертя.
3. Які види сил тертя вам відомі?
4. Як можна виміряти силу тертя?
5. Як можна обчислити силу тертя?
6. Що називають коефіцієнтом тертя ковзання? Від чого залежить його значення?
7. Поясніть роль мастила.

**Вправа 16**

1 (с). Для чого на шинах автомобілів, колісних тракторів роблять глибокий рельєфний малюнок?

2 (с). Чому важко втримати в руках живу рибину?

3 (с). З допомогою динамометра рівномірно переміщують брусок уздовж горизонтальної поверхні. Чому дорівнює сила тертя, якщо динамометр показує 4 Н?

4 (д). Яка сила потрібна для рівномірного переміщення візка, якщо сила тертя становить 0,02 його ваги? Вага візка 500 Н.

5 (д). Яка сила тертя між загальмованими колесами автомобіля і асфальтовою дорогою, якщо вона становить 0,4 ваги автомобіля, а вага автомобіля дорівнює 15 кН?

6 (в). Під час ковзання дерев'яного бруска по горизонтальній дошці сила тертя становить 0,3 ваги тіла, а при коченні дерев'яного циліндра сила тертя становить лише 0,06 ваги тіла. В скільки разів у цьому випадку сила тертя кочення, менша ніж сила тертя ковзання?

**Завдання для самоперевірки з розділу****«Взаємодія тіл. Сила»**

**1(п).** Якщо тіло рухається по поверхні іншого тіла, то виникає...

- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| А) сила тяжіння, | Б) сила пружності,    |
| В) сила тертя,   | Г) гравітаційна сила. |

**2(п).** Маса – це фізична величина, яка характеризує...

- |                     |  |
|---------------------|--|
| А) інертність тіла, | Б) швидкість тіла,                           |
| В) вагу тіла,       | Г) гравітаційні та інертні властивості тіла. |





**3(п). Гравітаційна сила – це сила, з якою...**

А) тіла відштовхуються одне від одного; Б) тіла притягуються одне до одного;

В) тіла притягуються або відштовхуються одне від одного; Г) тіла тиснуть одне на одне.

**4(с). Взаємодією тіл називається...**

А) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони змінюють свою масу;

Б) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони змінюють швидкість і напрям руху, а також деформуються;

В) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони притягуються;

Г) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони деформуються.

**5(с). Виберіть усі правильні твердження:**

А) сила пружності спрямована в ту ж сторону, що й зміщення частинок тіла;

Б) пружна деформація описується законом Гука;

В) сила пружності прямо пропорційна величині деформації;

Г) коефіцієнт жорсткості залежить від сили пружності.

**6(с). Густина речовини становить  $5,4 \text{ г/см}^3$ . Визначити правильне значення густини цієї речовини в СІ.**

А)  $0,0054 \text{ кг/м}^3$

Б)  $0,0054 \text{ кг/м}^2$

В)  $540 \text{ кг/м}^3$

Г)  $5400 \text{ кг/м}^3$

**7(п). На рисунках зображено деякі з сил, що діють на тіло або опору. Визначте назви сил, зображених на них. Для цього використайте відповіді, наведені нижче.**



А) I

1) Сила реакції опори

Б) II

2) Сила тяжіння

В) III

3) Вага тіла

4) Рівнодійна сила

**8(в). Довжина пружини дорівнює  $10 \text{ см}$ . Під дією сили  $4 \text{ Н}$  пружина видовжилась на  $2 \text{ см}$ . Якою буде довжина пружини, якщо на неї діятиме сила  $18 \text{ Н}$ ?**



## § 28. Тиск твердих тіл на поверхню

По пухкому снігу людині йти важко, вона глибоко провалюється при кожному кроці. Але, надівши лижі, можна йти по снігу, майже не провалюючись у нього. Чому?

- **Тиск**
- **Одиниці тиску**
- **Сила тиску**

**Тиск.** На лижах або без лиж людина діє на сніг з тією самою силою, що дорівнює її вазі. Проте дія цієї сили в обох випадках неоднакова, бо різна площа поверхні, на яку тисне людина на лижах і без них. *Площа поверхні лижі разів у двадцять більша за площу підшви.* Тому, стоячи на лижах, ми тиснемо на кожний квадратний сантиметр поверхні снігу із силою у двадцять разів меншою ніж тоді, коли стоїмо на снігу без лиж (рис. 3.46).



Рис. 3.46. Результат дії сили залежить від площі тієї поверхні, перпендикулярно до якої вона діє

Учень, який приколєє кнопками газету до дошки, діє на кожну кнопку з однаковою силою. Проте кнопка, що має гостріший кінець, легше входить у дерево.

Отже, *результат дії сили залежить не тільки від її модуля, а й від площі тієї поверхні, перпендикулярно до якої вона діє*

Від того, яка сила діє на кожну одиницю площі поверхні, залежить результат дії цієї сили.

У розглянутих прикладах сили діяли перпендикулярно до поверхні тіла. Вага людини була перпендикулярна до поверхні снігу; сила, яка діяла на кнопку, перпендикулярна до її поверхні.

**Тиск** – фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі поверхні.



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

де  $p$  – тиск,  $F$  – сила, яка діє на поверхню, і  $S$  – площа поверхні.

**Одиниці тиску.** За одиницю беруть такий тиск, який чинить сила 1 Н, що діє на поверхню площею 1 м<sup>2</sup> перпендикулярно до цієї поверхні.

На честь видатного французького вченого **Блеза Паскаля** *одинацю тиску*  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  (ньютон на квадратний метр) називають **паскалем** (позначається Па).

Отже,  $[p] = \text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

Знаючи тиск, легко визначити *силу тиску* або *площу* поверхні, на яку

вона діє:

$$F = pS; \quad S = \frac{F}{p}.$$

**Сила тиску.** Тиск, якщо є потреба, можна довільно змінювати, відповідно змінюючи силу тиску. Збільшення або зменшення сили тиску веде до відповідного збільшення або зменшення тиску. Здебільшого змінювати тиск, змінюючи силу тиску, незручно. Тому змінюють площу  $S$  поверхні, на яку діє сила. Якщо площу збільшувати, то тиск відповідно зменшуватиметься. І навпаки, зі зменшенням площі тиск збільшується.

Проектуючи будинок, архітектор передусім дбає про те, щоби споруда не вгрузала в землю. Робити будинок легшим можна лише в певних межах, за якими він взагалі втрачає міцність. Тому нижню частину фундаменту роблять ширшою.

Шини і гусениці машин, які мають рухатися по м'якому ґрунті, виготовляють значно ширшими, ніж у таких самих машин, що працюють на твердому ґрунті (рис. 3.47).

Рис.3.47. Залежність дії сили тиску від площі поверхні, на яку діє сила



У природі взаємодіють різноманітні тіла.

Тому і значення тиску найрізноманітніші:

Тиск повітря на висоті 800 км  $10^{-8}$  Па;

Тиск танка на ґрунт  $10^5$  Па;

Тиск автомобіля на шлях  $0,3 \cdot 10^5$  Па;

Тиск жала бджоли  $0,5 \cdot 10^8$  Па.





## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Розрахувати тиск, що його чинить на підлогу хлопчик, маса якого 45 кг, а площа підшов його черевиків дорівнює  $300 \text{ см}^2$ .

Дано:	СИ
$m = 45 \text{ кг}$	
$S = 300 \text{ см}^2$	$0,03 \text{ м}^2$
$p = ?$	

## Розв'язування

За визначенням тиску  $p = \frac{F}{S}$ .

Сила тиску  $F$ , якою хлопчик тисне на підлогу, дорівнює його вазі

$$F = mg$$

$$\text{Тоді тиск } p = \frac{mg}{S}; \quad p = \frac{45 \cdot 9,8}{0,03} \approx 15000 \text{ (Па)} = 15 \text{ (кПа)}.$$

$$[p] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}} = \text{Па}.$$

**Відповідь:**  $p = 15 \text{ кПа}$ .



## Головне у цьому параграфі

Величину, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі поверхні, називають **тиском**. Щоби 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.



## Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади, які показують, що дія сили залежить від площі основи, на яку діє сила.
2. Що називають тиском? Як визначають тиск?
3. Як можна змінювати тиск?

Вправа 17<sup>1</sup>

1 (с). Запишіть у паскалях тиск: 3 гПа,  $0,03 \text{ Н/см}^2$ , 4 МПа.

2 (с). Мармурова колона античного храму масою 500 т має площу основи  $12,5 \text{ м}^2$ . Визначити тиск колони на опору.



**3 (д).** Хлопчик масою 45 кг стоїть на лижах. Довжина кожної лижі 1,5 м, ширина 10 см. Який тиск чинить хлопчик на сніг? Порівняйте його з тиском, який чинить хлопчик, що стоїть без лиж (див. приклад розв'язування задач).

**4 (в).** Який тиск створює голка під час шиття, якщо до неї прикладають зусилля 2 Н, а площа дотику голки  $0,000006 \text{ см}^2$ ?

**5 (в).** Тиск на дорогу чотирьох задніх коліс потужного вантажного автомобіля становить  $46 \text{ Н/см}^2$ , а двох передніх  $33 \text{ Н/см}^2$ . Чому дорівнює повна маса автомобіля, якщо площа дотику кожної шини  $545 \text{ см}^2$ ?

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

*Тиск твердих тіл на поверхню зумовлений їх вагою. А чим зумовлений тиск рідин і газів? Які спільні властивості мають рідини і гази?*

- **Тиск газу**
- **Передача тиску газами й рідинами**
- **Закон Паскаля**

**Тиск газу.** Ми вже знаємо, що гази, на відміну від твердих тіл і рідин, заповнюють усю посудину, в якій містяться, наприклад, камеру автомобільної шини або волейбольного м'яча. При цьому газ чинить тиск на стінки камери або будь-якого іншого тіла, в якому він міститься. Тиск газу зумовлений іншими причинами, ніж тиск твердого тіла на опору.

Відомо, що молекули газу безладно рухаються. Під час свого руху вони стикаються одна з одною, а також зі стінками посудини, в якій міститься газ (рис. 3.48).



Рис. 3.48. Удари молекул газу об стінки посудини

*Тиск газу на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло) спричиняється ударами молекул газу.*

Розглянемо такий досвід. Під ковпак повітряного насоса кладуть зав'язану гумову кульку. Вона містить невелику кількість повітря (рис. 3.49, а) і має неправильну форму. Потім насосом викачують повітря із-під ковпака. Оболонка кульки, навколо якої повітря стає дедалі більш розрідженим, поступово роздувається і набирає форми кулі (рис. 3.49, б).

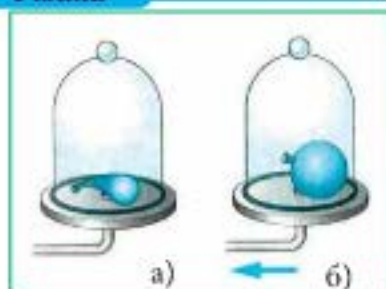


Рис.3.49. Дослід із гумовою кулькою

Це пояснюється тим, що молекули повітря безперервно бомбардують стінки кульки всередині й зовні. Коли відкачувати повітря, кількість молекул під ковпаком навколо оболонки кульки зменшується. Але всередині зав'язаної кульки їх кількість не змінюється. Тому кількість ударів молекул об зовнішні стінки оболонки стає меншою від числа ударів об внутрішню стінку, й кулька роздувається доти, доки сила пружності її гумової оболонки не дорівнюватиме силі тиску газу.

Куляста форма, якої набирає роздута оболонка кульки, свідчить про те, що **газ тисне на стінки в усіх напрямках однаково**.

З'ясуємо, від чого залежить тиск газу. Розглянемо дослід. На рисунку 3.50, а зображено скляну трубку з повітрям, один кінець якої закрито тонкою гумовою плівкою. Плівка не деформована, отже тиск повітря в трубці та ззовні однаковий.



а) б) в)

Рис. 3.50. Зміна форми плівки

У трубку вставлено поршень. Коли його всувати, об'єм повітря в трубці зменшується, але оскільки маса повітря залишається незмінною, то концентрація молекул (їх кількість в одиниці об'єму) збільшується. Гумова плівка при цьому вигинається назовні, показуючи, що тиск повітря в трубці збільшився (рис. 3.50, б).

Навпаки, **зі збільшенням об'єму цієї самої маси повітря його концентрація зменшується, а від цього зменшується тиск**. Справді, коли витягати поршень з трубки, об'єм повітря збільшується, плівка прогинається всередину посудини, показуючи, що тиск повітря в трубці зменшився (рис.3.50, в). Такі самі явища спостерігалися б, коли б замість повітря в трубці був будь-який інший газ.





Отже, зі зменшенням концентрації молекул тиск зменшується, а зі збільшенням – збільшується, за умови, що температура газу не змінюється.

Якщо не змінювати об'єму газу і при цьому його нагрівати, то швидкість руху молекул збільшується, а їх кількість в одиниці об'єму (концентрація) залишається незмінною. Рухаючись швидше, молекули частіше вдаряються об стінки посудини, внаслідок цього ті зазнають більшого тиску.

Отже, *тиск газу в закритій посудині буде тим більший, чим вища температура газу, за умови, що маса газу не змінюється.*

**Передача тиску газами й рідинами.** З розглянутих дослідів можна зробити ще один висновок – *газ може передавати тиск*. При опусканні поршня тиск, створений поршнем, передається через газ стінкам трубки і гумовій плівці. Такий же висновок можна зробити, якщо у трубку замість повітря помістити рідину.

Внаслідок земного тяжіння рідини також мають вагу, тому тиснуть на дно посудини, в якій містяться. Але на відміну від твердих тіл, для рідин характерна текучість: окремі шари і дрібні частинки рідини можуть переміщуватись одні відносно одних, але не так вільно як молекули газу. Вони можуть лише змінювати своє положення, міняючись місцями із сусідніми молекулами. Отже, рідини, як і гази, тиснуть на всі стінки посудини, в якій містяться.

Повторимо подібний дослід з рідиною. Наберемо в скляну трубку з поршнем води і зав'яжемо зверху гумовою плівкою (рис. 3.51).



Рис.3.51. Рідина передає тиск

Натиснемо на поршень. При русі поршня молекули води, що прилягають до нього, зміщуються вглиб рідини. Поступово процес охоплює весь об'єм рідини. Внаслідок цього зростає тиск на плівку і на стінки трубки. Густина рідини і кількість молекул в одиниці об'єму (концентрація) під час передачі тиску не змінюються, на відміну від цих характеристик газу. Зміна об'єму, зумовлена переміщенням поршня, компенсується прогином плівки і незначною деформацією стінок трубки.

**Закон Паскаля.** Як для рідин, так і для газів характерна спільна властивість: вони передають тиск в усіх напрямках однаково. Цю особливість дослідив французький фізик **Блез Паскаль**, який сформулював закон, названий на його честь законом Паскаля.



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

*Переконаємось у цьому на дослідах.*

На рис. 3.52 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 полетить з усіх отворів кулі (рис. 3.52, а). 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. Внаслідок цього частина води виштовхується з усіх отворів кулі у вигляді струменів.

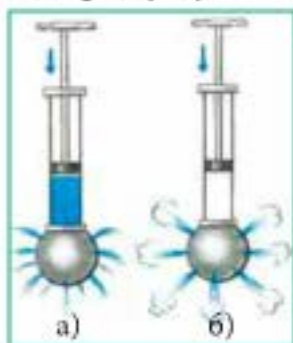


Рис. 3.52. Рідини і гази передають тиск в усіх напрямках однаково

Якщо кулю заповнити димом і всувати поршень у трубку, то з усіх отворів кулі почнуть виходити клуби диму (рис. 3.52, б). Це підтверджує, що й гази передають тиск, який чиниться на них, в усі боки однаково.



### Головне у цьому параграфі

**Тиск газу** на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло) спричинюється ударами молекул газу.

**Тиск газу залежить від концентрації молекул і температури:** а) зі зменшенням концентрації молекул тиск зменшується, а зі збільшенням – збільшується, за умови, що температура газу не змінюється; б) зі зростанням температури газу його тиск збільшується, за умови, що маса газу не змінюється.

Як для рідин, так і для газів характерна спільна властивість: **вони передають тиск в усіх напрямках однаково**, – **закон Паскаля**.



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.

### Вправа 18

1 (с). Розгляньте рисунок 3.54. Поясніть спостережуване явище.

2 (д). За рисунком 3.55 поясніть механізм передачі тиску твердим та сипким тілом і рідиною. Намалюйте стрілочками напрямки передачі тиску.

Рис. 3.54.



Рис. 3.55.



3 (д). Після накачування повітря в камеру колеса автомобіля заміряли його тиск. У верхній частині камери його значення 210 кПа. Яке значення тиску повітря у нижній частині камери?

4 (в). Поясніть, чому мильні бульбашки мають кулясту форму.

## § 30. Гідростатичний тиск

*Чи однаковий тиск чинить рідина на дно і стінки посудини? Як його мож на обчислити?*

- Розрахунок тиску рідини на дно і стінки посудини
- Глибинний тиск

**Розрахунок тиску рідини на дно і стінки посудини.** Усі рідини на Землі зазнають дії сили тяжіння. Через це вони мають вагу.

Візьмемо високу циліндричну посудину з гумовим дном і наллємо в неї певну кількість води. Гумове дно прогнеться внаслідок дії ваги води (рис. 3.56).





Доллемо в посудину ще води. При цьому гумова плівка прогинається ще більше, бо збільшується маса води у посудині, а отже і вага води.



Рис. 3.56. Залежність прогинання гумового дна посудини від маси води

Розрахуємо 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 і об'ємом, що вона займає:  $m = \rho V$ .

Об'єм, що займає рідина у посудині, можна обчислити таким способом:  $V = Sh$ , де  $h$  – рівень води у посудині,  $S$  – площа дна посудини.

$$\text{Тоді } p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$$

Ми вивели *формулу для визначення 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, наливої 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.

Переконаємось у тому, що тиск рідини залежить від висоти стовпа рідини. Візьмемо високу посудину, у стінках якої на різних висотах є отвори. Прикриємо отвори і заповнимо посудину вщерть водою. Коли відкриємо отвори, то побачимо, що з усіх отворів почне витікати вода (рис. 3.57).

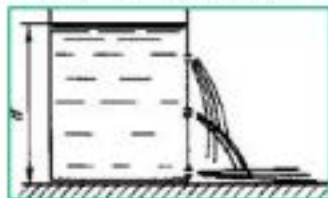


Рис. 3.57. Тиск рідини на дно посудини залежить від висоти стовпа рідини



Однак падають ці струмені на різних відстанях від посудини. Той, що витікає біля дна, сягає найдальшої від посудини точки. Таке пояснюється тим, що тиск води біля дна найбільший.

Переконаємось у тому, що тиск рідини на тій самій глибині однаковий в усіх напрямках. Візьмемо циліндричну трубку і один її кінець закриємо картонним диском. Опустивши закритий кінець трубки у воду, побачимо, що диск не відпадає (рис. 3.58, б). Це свідчить про те, що на нього знизу вгору діє тиск води.

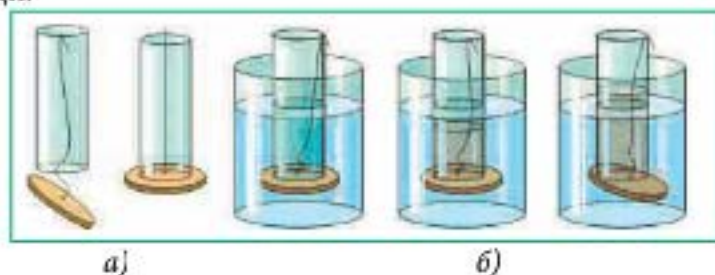


Рис. 3.58. Тиск води діє знизу вгору на диск

Будемо вливати воду у внутрішню посудину. Побачимо, що диск відпаде, коли рівень води у внутрішній посудині перевищить рівень води у великій посудині.

**Глибинний тиск.** Зміну тиску з глибиною добре відчують люди, які пірнають в глибини водойм. Якщо в легкому скафандрі водолаз може працювати на глибині до 100 м, то для дослідження глибини океанів, яка сягає кількох кілометрів, виготовляють особливо міцні товстостінні апарати – батискафи і батисфери.

Глибинний тиск відчувають на собі й мешканці водойм, які мешкають у нижніх її шарах.

### Приклади розв'язування задач

**Задача.** Який тиск діє на нижню і верхню поверхні кубика, що перебу-

**Дано:**  $CI$  ває у воді, якщо довжина його ребра дорівнює 5 см, а  
 $a = 5 \text{ см}$   $0,05 \text{ м}$  глибина занурення верхньої грані 10 см?

$h_1 = 10 \text{ см}$   $0,1 \text{ м}$

#### Розв'язування

$p_1 = ?$   $p_2 = ?$

На верхню грань кубика діє тиск стовпа рідини заввишки  $h$  (див. рис. 3.59):  $p_1 = \rho g h_1$ .

Тиск на нижню грань визначається стовпом рідини заввишки  $h_2 = h_1 + a$ .

За законом Паскаля цей тиск діє знизу вгору:  $p_2 = \rho g h_2 = \rho g (h_1 + a)$ .

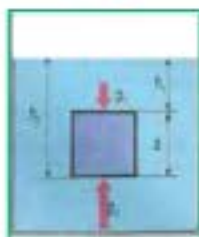


Рис. 3.59. До розв'язання задачі

$$p_1 = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,1 = 0,98 \cdot 10^3 \text{ (Па)};$$

$$p_2 = 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,15 = 1,47 \cdot 10^3 \text{ (Па)}.$$

$$[p] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} = \text{Па}.$$

**Відповідь:** на верхню грань діє тиск 0,98 кПа, на нижню – 1,47 кПа.



### Головне у цьому параграфі

Тиск рідини на дно посудини залежить тільки від густини і висоти стовпа рідини  $p = \rho gh$ .

За цією формулою можна визначити тиск рідини, наливої 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.



### Запитання для самоперевірки

1. Чому виникає тиск рідин?
2. Від чого залежить тиск рідини?
3. Які величини треба знати, щоб обчислити тиск рідини на стінки посудини?
4. Чи залежить тиск рідини від форми посудини?

### Вправа 19

- 1 (с). Глибина океану досягає 11 км. Визначити тиск води на цій глибині.
- 2 (с). У першу з трьох мензурок наливо води, у другу – гасу, у третю – ртуті до однакової висоти, що дорівнює 5 см. У якій мензурці тиск на дно буде найбільший? Найменший?



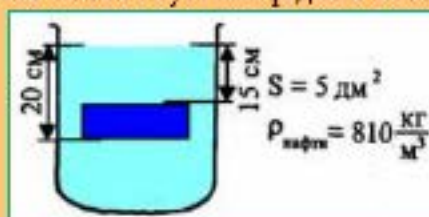


3(д). На яку найбільшу глибину може опуститись у море батискаф, стінки якого витримують тиск  $10^3$  МПа?

4(в). У баржі на глибині 80 см від ватерлінії утворилася пробійна площею  $150 \text{ см}^2$ . З якою силою треба тиснути на латку, щоби вода не проникла всередину баржі?

5(в). Обчислити силу тиску рідини на нижню грань бруска. (Площа основи бруска, глибина занурення, а також назва і густина рідини вказані на рисунку 3.60).

Рис. 3.60. До задачі 5



### § 31. Атмосферний тиск

Визначити атмосферний тиск за формулою для обчислення тиску стовпа рідини не можна, бо для такого розрахунку треба знати висоту атмосфери і густину повітря. Але певної межі в атмосфері немає, а густина повітря на різній висоті різна. Як же вимірюють атмосферний тиск?

- Дослід Торрічеллі
- Вимірювання атмосферного тиску

**Дослід Торрічеллі.** Планета Земля оточена газовою оболонкою – атмосферою. До складу атмосфери входять такі гази як кисень, азот, вуглекислий газ, водень, гелій тощо. Молекули газів, які входять до складу атмосфери, перебувають у неперервному русі, але не розлітаються у космосі, бо їх утримує сила земного тяжіння. Безперервний хаотичний рух молекул повітря і зумовлює **атмосферний тиск**. Виміряти атмосферний тиск можна за допомогою досліду, запропонованого в XVII ст. італійським ученим Еванджеліста Торрічеллі, учнем Галілео Галілея.

Дослід Торрічеллі (рис. 3.61) 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 з 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.

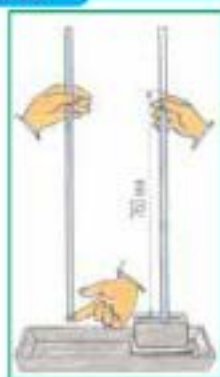


Рис. 3.61. Дослід Торрічеллі

Торрічеллі, який запропонував описаний вище дослід, сам і пояснив його. Атмосфера тисне на поверхню ртуті в чашці. Створений стовпом ртуті тиск врівноважується атмосферним тиском, який не дає ртуті виливатись. Якби він був більший від атмосферного, то ртуть виливалася б із трубки в чашку, а якщо менший, то піднімалася б у трубці вгору.

Тиск у трубці створюється вагою стовпа ртуті в трубці, бо у верхній частині трубки над ртуттю повітря немає. Звідси випливає, що вимірявши висоту стовпа ртуті, можна обчислити тиск, який чинить ртуть, – він і дорівнюватиме атмосферному тиску. Якщо атмосферний тиск зменшиться, то стовп ртуті в трубці знизиться.

**Вимірювання атмосферного тиску.** Чим більший атмосферний тиск, тим вищий стовп ртуті в досліді Торрічеллі, тому на практиці атмосферний тиск можна вимірювати висотою ртутного стовпа (в 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, в цьому випадку **за одиницю атмосферного тиску** взято **1 мм ртутного стовпа (1 мм рт. ст.)**. Знайдемо співвідношення між цією одиницею і відомою нам одиницею тиску – **паскалем**.

Тиск ртутного стовпа висотою 1 мм згідно формули  $p = \rho gh$  дорівнює:

$$p = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/м} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па}$$

Отже **1 мм рт. ст.  $\approx$  133,3 Па**.

Атмосферний тиск вимірюють також в гектопаскалях. Наприклад, у звіденнях погоди може бути сказано, що тиск дорівнює 1013 гПа, це те саме, що й 760 мм рт. ст.

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.



### Головне у цьому параграфі

Безперервний хаотичний рух молекул повітря зумовлює **атмосферний тиск**.

За одиницю атмосферного тиску взято **1 мм ртутного стовпа** (1 мм рт. ст.). 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.

Співвідношення між цією одиницею і відомою нам одиницею тиску – **паскалем**:  $1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ Па}$



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке атмосферний тиск?
2. Поясніть, як за допомогою трубки Торрічеллі можна виміряти атмосферний тиск.
3. Назвіть одиниці атмосферного тиску?

## § 32. Барометри

У цьому параграфі дізнаємось про прилади для вимірювання атмосферного тиску. З'ясуємо як залежить атмосферний тиск від висоти.

- **Барометри**
- **Залежність атмосферного тиску від висоти**

**Барометри.** Прикріпивши до трубки з ртуттю в досліді Торрічеллі вертикальну шкалу, дістають найпростіший **ртутний барометр** (від грецьких слів: барос – вага, метрео – вимірюю) – прилад для вимірювання атмосферного тиску (рис. 3.64).

Ртутний барометр є досить чутливим і точним приладом, проте користуватись ним доволі незручно. Тому в техніці й у побуті значного поширення набули металеві барометри – **анероїди**, що означає «безрідинні».

Головна частина барометра – металева коробочка 1 з хвилястою (гофрованою) поверхнею (рис. 3.65). З цієї коробочки викачано повітря, а щоб ат-





Рис. 3.64. Ртутний барометр

атмосферний тиск її не роздавив, пружина 2 відтягує кришку коробочки вгору. Коли атмосферний тиск збільшується, кришка прогинається вниз і натягує пружину.

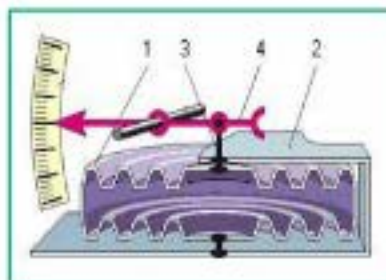


Рис. 3.65. Будова анероїда



Рис. 3.66. Барометр-анероїд

Зі 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 рис. 3.66.

**Залежність атмосферного тиску від висоти.** Шари повітря біля поверхні Землі стиснуті всіма шарами повітря, які лежать над ними. Чим вище від поверхні Землі шар повітря, тим менше він стиснутий, тим менша його густина, а отже, тим менший він чинить тиск.

Спостереження показують, що атмосферний тиск у місцевостях, які лежать на рівні моря, в середньому дорівнює 760 мм рт. ст. Цей тиск називають **нормальним атмосферним тиском**.

**Нормальний атмосферний тиск** дорівнює 760 мм рт. ст. або 101 300 Па.

Чим більша висота над рівнем моря, тим менший тиск. При невеликих підйомах у середньому на кожні 12 м підйому тиск зменшується на 1 мм рт. ст. (або на 133 Па).

Знаючи залежність тиску від висоти, можна за зміною показів барометра визначити висоту над рівнем моря. Анероїди, що мають шкалу, за якою безпосередньо можна визначити висоту, називають **висотомірами**. Їх застосовують в авіації та під час сходження на гори.



### Головне у цьому параграфі

Прилади для вимірювання атмосферного тиску називаються **барометри**.

Чим більша висота над рівнем моря, тим менший тиск. При невеликих підйомах у середньому на кожні 12 м підйому тиск зменшується на 1 мм рт. ст. (або на 133 Па).



1. Як називають прилад для вимірювання атмосферного тиску?
2. Як пояснити, що атмосферний тиск зменшується зі збільшенням висоти підйому над рівнем Землі?

### § 33. Сполучені посудини

У цьому параграфі розглянемо практичне застосування дії тиску рідин та газів

**Сполучені посудини.** На рисунку 3.67 зображено дві посудини, сполучені між собою гумовою трубкою. Такі посудини (рис. 3.67) називають **сполученими**. Сполучені посудини широко застосовуються в побуті й техніці: поливальниця, чайник, кавник, фонтан, артезіанський колодязь – приклади сполучених посудин.



Рис. 3.67. Сполучені посудини

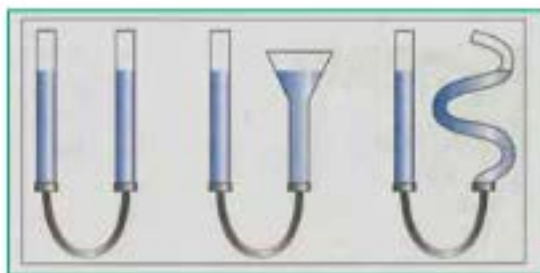


Рис. 3.68. У сполучених посудинах різної форми висота рівнів однорідної рідини однакова

У сполучених посудинах будь-якої форми (рис. 3.68) **поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні** (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий).

Це правило можна обґрунтувати, міркуючи так: рідина в спокої не переміщується з однієї посудини в іншу, отже **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, мають бути однакові її висоти:  $h_1 = h_2$ .

Якщо в одну зі сполучених посудин налито рідину однієї густини, а в другу – іншої, то **при рівновазі рівні цих рідин не будуть однакові** (рис. 3.69).

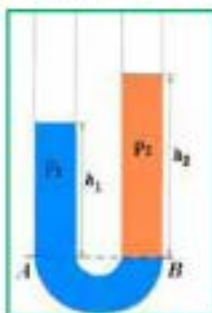


Рис. 3.69. Якщо у посудину з водою долити олії, то рівні рідини не будуть однаковими

При однакових тисках висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша за висоту стовпчика рідини з меншою густиною:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad \text{або} \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

### Приклади розв'язування задач

**Задача.** У ліве коліно сполучених посудин налито олію, а у праве – воду. Висота стовпа олії дорівнює 10 см. Яка висота стовпа води, виміряна від межі поділу олії та води? Густина олії  $900 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:

$$h_1 = 10 \text{ см}$$

$$\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$h_2 = ?$$

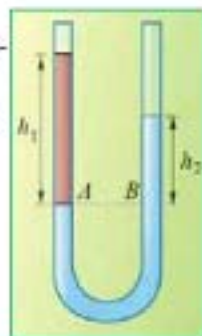
СИ

$$0,1 \text{ м}$$

Розв'язування

Зробимо схематичний малюнок до задачі (рис. 3.70).

Лінія AB на рисунку – межа поділу олії та води.



За властивістю сполучених посудин  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ .

$$\text{Звідси} \quad h_2 = \frac{\rho_1 h_1}{\rho_2}$$

$$\text{Підставляємо числові значення:} \quad h_2 = \frac{900 \cdot 0,1}{1000} = 0,09 \text{ (м).}$$

Рис. 3.70.

Перевіряємо одиницю шуканої величини:

$$[h] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}.$$

**Відповідь:** 9 см.





## Головне у цьому параграфі

**Сполучені посудини** – це дві посудини, сполучені між собою між собою трубками або протоками.

У сполучених посудинах будь-якої форми поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий).

При однакових тисках висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша за висоту стовпчика рідини з меншою густиною:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \text{ або } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$



## Запитання для самоперевірки

1. Як розміщуються поверхні однорідної рідини в сполучених посудинах? Різних рідин?

### Вправа 20

1 (д). У ліве коліно сполучених посудин налито воду, у праве – гас. Висота стовпа гасу 20 см. Визначити, наскільки рівень води в лівому коліні нижче від верхнього рівня гасу.

2 (д). У сполучених посудинах містяться ртуть і вода. Висота стовпа води 68 см. Якої висоти стовп гасу слід налити в ліве коліно, щоб ртуть установилася на однаковому рівні?

3 (д). У сполучених посудинах міститься ртуть. Коли в праву трубку налили шар гасу висотою 34 см, рівень ртуті в лівій трубці піднявся на 2 см. Якої висоти шар води слід налити в ліву трубку, щоб ртуть у трубках установилася на однаковому рівні?

## § 34. Манометри і насоси

У цьому параграфі ми дізнаємося, що таке манометри, насоси.

- Манометри
- Рідинний насос

**Манометри.** Рівень води в сполучених посудинах залежить також від зовнішнього тиску. Це явище використано для побудови рідинних *манометрів* – приладів 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 (рис. 3.71).



Рис. 3.71. Рідинний манометр



Рис. 3.72. Дія рідинного манометра

Щоб зрозуміти, як працює такий манометр, його можна сполучити гумовою трубкою з круглою плоскою коробкою, один бік якої затягнутий гумовою плівкою (рис. 3.72).

Якщо злегка натиснути пальцем на плівку, то рівень рідини в коліні манометра, сполученому з коробкою, знизиться, а в другому коліні – підвищиться. Чим це пояснюється? Від натискування на плівку тиск повітря в коробці збільшується. За законом Паскаля це збільшення тиску передається і рідині в тому коліні манометра, яке сполучене з коробкою. Тому тиск на рідину в цьому коліні буде більший, ніж у другому, де на рідину діє атмосферний тиск. Під дією сили цього надлишкового тиску рідина почне переміщатися: в коліні зі стиснутим повітрям рідина опуститься, у другому – підніметься. Рідина буде в рівновазі (зупиниться), коли надлишковий тиск стиснутого повітря зрівноважиться тиском, що його чинить надлишковий стовп рідини в другому коліні та тиском атмосферного повітря її поверхню.

Чим більше тиснути на плівку, тим вищий надлишковий стовп рідини, тим більший його тиск. Таким чином, про зміну тиску можна робити висновки за висотою цього надлишкового стовпа.

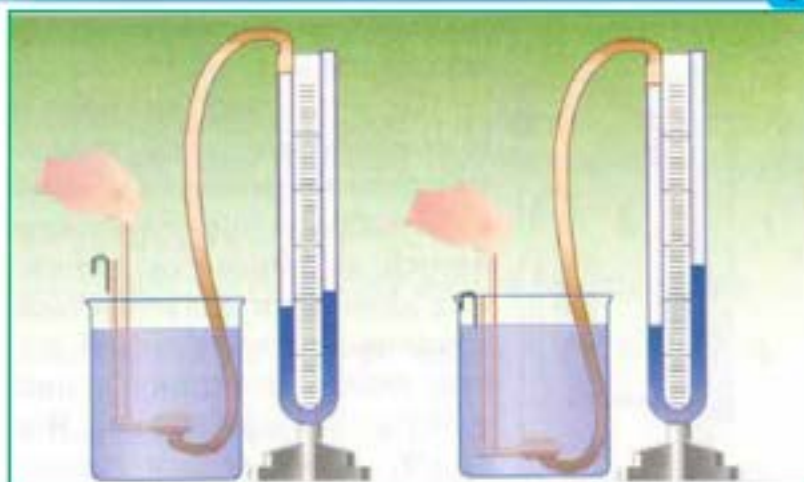


Рис. 3.73. Вимірювання тиску рідини на різних глибинах

На рисунку 3.73 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 і 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 в усіх напрямках однаковий.

У техніці застосовують металеві манометри (рис. 3.74).

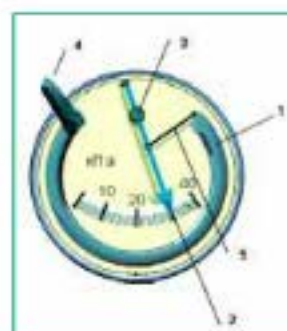


Рис. 3.74. Металевий манометр

Основна частина такого манометра – зігнута в дугу металева трубка 1, один кінець якої закритий. Другий кінець трубки за допомогою крана 4 сполучений з 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.





**Рідинний насос.** *Поршневий рідинний насос* схематично зображений на рисунку 3.75. Основна його частина – циліндр, всередині 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.

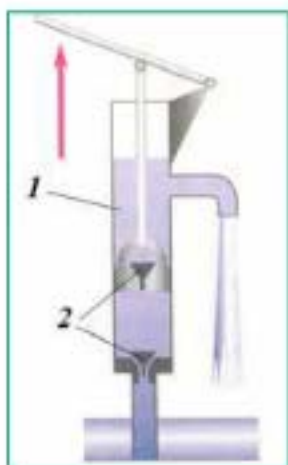


Рис. 3.75. Рідинний поршневий насос

Коли поршень рухається вниз, вода під ним тисне на нижній клапан, і цей клапан закривається. Одночасно під тиском води відкривається клапан у середині поршня і вода переходить у простір над поршнем. При дальшому русі поршня вгору разом з ним піднімається і вода, що є над поршнем, виливаючись у відповідну 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.



### Запитання для самоперевірки

1. Як побудований і діє відкритий рідинний манометр?
2. Як побудований і діє металевий манометр?
3. Як побудований і діє поршневий рідинний насос?
4. Яке явище використовують у роботі поршневого водяного насоса?



### § 35. Виштовхувальна сила. Закон Архімеда

Вам, мабуть, доводилось чути легенди про Архімеда. Серед них існує легенда про те, як Архімед, занурившись у набрану вицент водою ванну, побачив, що з ванни виливається певна кількість води. «Еврика!» – вигукнув Архімед і відкрив закон, який названо його ім'ям.

- Дія рідини й газу на занурене в них тіло
- Закон Архімеда

**Дія рідини й газу на занурене в них тіло.** Під водою ми можемо легко підняти камінь, який з великим зусиллям піднімаємо в повітрі. Якщо занурити корок під воду й випустити його з руки, то він випливе. Як можна пояснити ці явища?

Ми знаємо, 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 (рис. 3.76). Сили, які діють на бічні грані тіла, попарно однакові й зрівноважують одна одну ( $F_3 = F_4$ ). Під дією цих сил тіло тільки стискається. А сили, що діють на верхню і нижню грані тіла, неоднакові. На верхню грань тисне зверху із силою  $F_1$  стовп рідини висотою  $h_1$ . На рівні нижньої грані тіла тиск створює стовп рідини висотою  $h_2$ . Цей тиск, як ми знаємо, 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  $F_v$ , що дорівнює різниці сил  $F_2$  і  $F_1$ , тобто:  $F_v = F_2 - F_1$ .



Рис. 3.76. Дія рідини на занурене в неї тіло

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  $p_2$ ):  $F_1 = p_1 S_1$  і  $F_2 = p_2 S_2$ , де  $p_1 = \rho g h_1$ ,  $p_2 = \rho g h_2$ .



Оскільки  $S_1 = S_2 = S$  – площа основи паралелепіпеда, а різниця рівнів води на нижню і верхню грані дорівнює висоті паралелепіпеда  $h_2 - h_1 = h$ , то **виштовхувальна сила**:

$$F_e = F_2 - F_1 = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g h S,$$

де добуток  $Sh = V$  – об'єм паралелепіпеда.

Таким чином,

**виштовхувальна сила**, що діє на занурене у рідину тіло, визначається за формулою:  $F = \rho g V$ , де  $\rho$  – густина рідини, в яку повністю занурене тіло об'ємом  $V$ .

**Виштовхувальна сила** залежить від густини рідини, в яку занурене тіло, і від об'єму тіла. Якщо одне й те саме тіло занурювати у рідини з різними густинами, то чим більша густина рідини, тим більша виштовхувальна сила діє на занурене тіло.

Якщо в одну й ту саму рідину занурювати тіла різного об'єму, то більша виштовхувальна сила діє на тіло більшого об'єму.

Силу, яка виштовхує тіло з рідини або газу, називають ще **архімедовою силою** на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше довів існування цієї сили й обчислив її значення.

**Закон Архімеда.** Кожне тіло має певний об'єм. Якщо це тіло занурюється в рідину, то воно витісняє частину рідини і займає її місце. Об'єм витісненої рідини дорівнює об'єму зануреного тіла. Добуток  $\rho V = m$  – це маса рідини в об'ємі тіла. Тоді виштовхувальна сила  $F = mg = P$  – дорівнює вазі рідини в об'ємі зануреного в неї тіла.

**Закон Архімеда.** На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини цього тіла.

$$F_A = \rho g V$$

Сила, яка виштовхує тіло з рідини або газу, направлена протилежно силі тяжіння, прикладеній до цього тіла, тому якщо яке-небудь тіло зважити у рідині або газі, то його вага буде менша за вагу у вакуумі (пустоті). Закон Архімеда діє лише в умовах земного тяжіння. У невагомості закон Архімеда не діє.

Щоби визначити вагу тіла, зануреного в рідину, необхідно знайти різницю між його вагою в повітрі ( $P_0$ ) та силою Архімеда ( $F_A$ ):  $P = P_0 - F_A$ .





## Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Визначити виштовхувальну силу, яка діє на камінь об'ємом  $1,6 \text{ м}^3$  у морській воді.

Дано:

$$V = 1,6 \text{ м}^3$$

$$\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$F_A = ?$$

**Розв'язування**

Виштовхувальна сила, що діє на камінь у морській воді:

$$F_A = \rho g V;$$

$$F_A = 9,8 \cdot 1030 \cdot 1,6 = 16480 \text{ (Н)} \approx 16,5 \text{ (кН)};$$

$$[F_A] = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 = \text{Н}.$$

**Відповідь:**  $F_A \approx 16,5 \text{ кН}$ .

**Задача 2.** Як зменшиться вага металевого бруска об'ємом  $100 \text{ см}^3$  після повного занурення його в гас?

Дано:

$$V = 100 \text{ см}^3$$

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

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

$$\Delta P = ?$$

**Розв'язування**

Зміна ваги бруска дорівнює вазі гасу в його об'ємі:

$$\Delta P = P_t = g \rho_t V_t.$$

При повному зануренні об'єм витісненого гасу дорівнює об'єму бруска:

$$V_t = V = 100 \text{ см}^3 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$\Delta P = 9,8 \cdot 800 \cdot 10^{-4} \approx 0,8 \text{ (Н)};$$

$$[\Delta P] = \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 = \text{Н}$$

**Відповідь:** у гасі брусок важить на  $0,8 \text{ Н}$  менше ніж у повітрі.



### Головне у цьому параграфі

**Виштовхувальна сила**, що діє на занурене у рідину тіло, визначається за формулою:  $F_A = \rho g V$ , де  $\rho$  – густина рідини, в яку повністю занурене тіло об'ємом  $V$ .

**Закон Архімеда:** на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі цього тіла.



Щоби визначити вагу тіла, зануреного в рідину, необхідно знайти різницю між його вагою в повітрі ( $P_0$ ) та силою Архімеда ( $F_A$ ):  $P = P_0 - F_A$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
2. Від чого залежить виштовхувальна сила?
3. Сформулюйте закон Архімеда.



## Цікаво знати

Гідростатичне зважування – це метод вимірювання густини рідини або твердого тіла, який ґрунтується на законі Архімеда. Густина твердих тіл визначають методом подвійного зважування тіл: спочатку в повітрі, а потім у рідині, густина якої відома. Якщо визначають густина рідини, то в ній зважують тіло відомої маси та об'єму.

Якщо досліджуване суцільне тверде тіло тоне у воді, то для виконання завдання потрібний лише лабораторний динамометр (або рівноплечні терези) і посудина з водою. Спочатку визначають вагу  $P$  досліджуваного тіла у повітрі  $P = mg = \rho Vg$ , де  $\rho$  – невідома густина досліджуваного тіла, а  $m$  і  $V$  позначають відповідно його масу і об'єм.

$$\text{Звідки } V = \frac{P}{g\rho}.$$

Потім тверде тіло занурюють у посудину з рідиною, густина якої  $\rho_0$  відома (у разі використання чистої води  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ) і визначають вагу тіла  $P_1$  в рідині, яка за законом Архімеда менша від ваги тіла у повітрі на значення

сили Архімеда:  $P_0 - P_1 = F_A$ , оскільки  $F_A = g\rho_0 V$ , а  $V = \frac{P}{g\rho}$ , то:

$P - P_1 = g\rho_0 \frac{P}{g\rho}$ . З даного виразу можна вивести формулу для визначення густини речовини твердого тіла:  $\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$ .

### Вправа 21

1 (с). Чому дорівнює архімедова сила, яка діє у воді на тіла об'ємом  $125 \text{ см}^3$ , виготовлені зі скла, корка, алюмінію, свинцю?

2 (д). Яку силу треба прикласти, щоби підняти під водою камінь масою  $30 \text{ кг}$ , об'єм якого  $0,012 \text{ м}^3$ ? Яку силу слід прикласти, щоби підняти цей же камінь у повітрі?



**3 (д).** Яку масу води виштовхує плаваючий дерев'яний брусок довжиною 3 м, шириною 30 см і висотою 20 см? (Густина дерева  $600 \text{ кг/м}^3$ ).

**4 (в).** Визначте об'єм шматка міді, який при зануренні в гас виштовхується із силою 160 Н.

## § 36. Плавання тіл

Згідно із законом Архімеда, на всі тіла, занурені в рідину, діють виштовхувальні сили, значення яких залежать від об'ємів цих тіл і густини рідини. Чому ж тоді одні тіла тонуть у рідині, а інші спливають?

- **Плавання тіл**
- **Судноплавання**

**Плавання тіл.** І сила тяжіння, і архімедова (виштовхувальна) сила для одного й того самого тіла залежать тільки від густини рідини і густини тіла ( $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}} g V_{\text{т}}$  і  $F_{\text{А}} = \rho_{\text{р}} g V_{\text{т}}$ ). Очевидно, що сила тяжіння більша за архімедову тоді, коли густина тіла більша за густину рідини. І навпаки, сила тяжіння менша за архімедову, коли густина тіла менша за густину 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 за густину рідини,  $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{р}}$ , то тіло спливає.

Розглянемо останній випадок докладніше. Коли тіло, що спливає, досягає поверхні рідини, то при дальшому його русі вгору архімедова сила зменшуватиметься. Чому? Тому, що зменшуватиметься об'єм зануреної частини тіла, а архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі зануреної частини тіла. Коли архімедова сила дорівнюватиме силі тяжіння тіла, то тіло зупиниться і плаватиме на поверхні рідини, частково занурившись у неї.

Цей висновок легко перевірити на досліді.

У відливну посудину наливають воду до рівня бічної трубки. Після цього в посудину занурюють плаваюче тіло (рис. 3.77), попередньо зваживши його в повітрі. Занурившись у воду, тіло витісняє об'єм води, який дорівнює об'єму зануреної частини тіла. Зваживши цю воду, бачимо, що її вага (архімедова сила) дорівнює силі тяжіння, яка діє на плаваюче тіло, або вазі цього тіла у повітрі.





Рис. 3.77. Коли тіло плаває у рідині, то вага витісненої ним рідини дорівнює вазі цього тіла в повітрі

Виконавши такі самі досліди з будь-якими іншими тілами, що плавають у різних рідинах, – воді, спирті, у розчині солі, можна впевнитись, що коли тіло плаває у рідині, то вага витісненої ним рідини дорівнює вазі цього тіла в повітрі.



Рис. 3.78. Айсберг

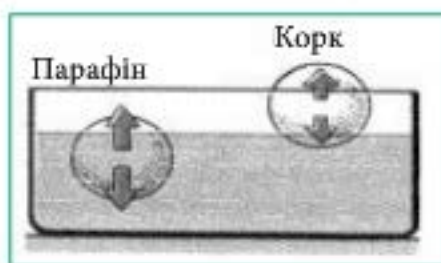


Рис. 3.79. Глибина занурення тіла залежить від його густини

Усім відомо, що лід плаває на поверхні води, оскільки його густина менша за густину води (рис. 3.78). Чим менша густина тіла порівняно з густиною рідини, тим менша його частина, занурена в рідину. Тож можете порівняти, яка частина айсберга перебуває над водою, а яка під водою.

Чим менша густина тіла порівняно з густиною рідини, тим менша його частина занурена в рідину (рис. 3.79).

Дві незмішувані рідини, наприклад вода і гас, розміщуються в посудині відповідно до своїх густин: у нижній частині посудини вода ( $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), зверху – легший гас ( $\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

Середня густина живих організмів, які населяють водне середовище, мало відрізняється від густини води, тому їхня вага майже повністю врівноважується архімедовою силою. Для того, щоб регулювати глибину занурення, у риб є плавальний міхур, об'єм якого може змінюватись. Коли риба за допомогою м'язів занурюється на велику глибину і тиск води на



неї збільшується, міхур стискається, об'єм тіла риби зменшується і вона не виштовхується вгору, а плаває на глибині.

**Судноплавство.** Судна, які плавають по річках, озерах і морях, збудовані з різних матеріалів неоднакової густини (рис. 3.80). 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.

Рис. 3.80. Теплохід



Глибину, на яку судно занурюється у воду, називають осадкою. Найбільшу допустиму осадку позначають на корпусі судна червоною лінією, яка називається ватерлінією. Вагу витісненої судном води, що дорівнює силі тяжіння судна з вантажем, називають водотоннажністю судна.



### Головне у цьому параграфі

Знаючи густину тіла і густину рідини, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині:

...якщо густина тіла більша за густину рідини,  $\rho_t > \rho_r$ , то воно тоне;

...якщо густина тіла дорівнює густині рідини,  $\rho_t = \rho_r$ , то тіло не тоне і не спливає;

...якщо густина тіла менша за густину рідини,  $\rho_t < \rho_r$ , то тіло спливає.

Плавання суден ґрунтується на тому, що вага води, яку витісняє підводна частина судна, дорівнює вазі судна з вантажем у повітрі або силі тяжіння, що діє на судно з вантажем.



### Запитання для самоперевірки

1. Сформулюйте умови плавання тіл.
2. На чому ґрунтується плавання суден?
3. Що таке ватерлінія?



## Вправа 22

1 (с). Як зміниться осадка корабля, коли він перейде з річки в море? Відповідь пояснити.

2 (д). Сила тяжіння, яка діє на судно, дорівнює 100 МН. Який об'єм води витісняє це судно?

3 (д). Пліт, який пливе по річці, має площу  $8 \text{ м}^2$ . Після того, як на нього поклали вантаж, осадка плоту збільшилась на 20 см. Яка вага цього вантажу?

4 (д). Вантажне судно, занурене в прісну воду до ватерлінії, виштовхує  $15\,000 \text{ м}^3$  води. Вага судна  $5 \cdot 10^7 \text{ Н}$ . Визначити вагу вантажу.

5 (д). Яку масу води виштовхує плаваючий дерев'яний брусок довжиною 3 м, шириною 30 см і висотою 20 см? (густина дерева  $600 \text{ кг/м}^3$ ).

6 (д). Дерев'яний брусок, який плаває на воді, виштовхує  $0,72 \text{ м}^3$  води, а занурюючись повністю –  $0,9 \text{ м}^3$ . Визначте виштовхувальні сили, які діють на брусок. Поясніть, чому ці сили будуть різними.

## § 37. Повітроплавання

**Виштовхувальну силу**, яка діє в повітрі на всі тіла, використовують, створюючи **літальні апарати**, легші за повітря. Принцип дії таких апаратів можна зрозуміти з такого досліду. Підвісимо скляну колбу на одну із шальок рівноплечих терезів отвором вниз. Зрівноважимо терези. Під отвір колби піднесемо палаючу спиртівку. Гаряче повітря буде заходити в колбу і рівновага терезів порушиться. Оскільки в колбу заходить гаряче повітря, густина якого менша ніж густина холодного, то вага колби зменшується.

Описане явище використовують для виготовлення літальних апаратів, які можуть плавати в повітрі (рис. 3.81). Щоб куля піднімалась у повітрі, її треба наповнити газом, який має густину, меншу ніж густина повітря. Це може бути, наприклад, водень, гелій або нагріте повітря.



Рис. 3.81. Повітряні кулі

Перші повітряні кулі наповнювали нагрітим повітрям. Зручні вони тим, що температуру повітря в них, а отже і виштовхувальну силу, можна ре-





гулювати за допомогою газового пальника, розміщеного під отвором у нижній частині кулі. Можна підібрати таку температуру, при якій вага кулі й кабіни дорівнюватиме виштовхувальній силі, тоді куля зависатиме в повітрі і з неї легко проводити спостереження.

Повітряна куля не тільки піднімається сама в повітрі, вона може підняти й деякий вантаж.

Нехай, наприклад, у повітря запущено кулю об'ємом  $50 \text{ м}^3$ , наповнену гелієм. Визначимо вагу кулі:  $P = mg = \rho V g$ ,  $P = 0,18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 50 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 88,2 \text{ Н}$ . Виштовхувальна сила, яка діє на цю кулю в повітрі, дорівнює вазі повітря об'ємом  $50 \text{ м}^3$ , тобто  $P = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 50 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 637 \text{ Н}$ . Як бачимо, ця куля може підняти вантаж вагою  $P = 637 \text{ Н} - 88,2 \text{ Н} = 548,8 \text{ Н}$ , це і є піднімальна сила повітряної кулі.

**Різницю між вагою  $1 \text{ м}^3$  повітря і вагою такого самого об'єму газу називають піднімальною силою  $1 \text{ м}^3$  газу.**

Після проведених підрахунків встановлено, що піднімальна сила  $1 \text{ м}^3$  водню  $12,1 \text{ Н}$ , а піднімальна сила  $1 \text{ м}^3$  гелію –  $11,2 \text{ Н}$ . Як бачимо, піднімальна сила водню більша за піднімальну силу гелію, але повітряні кулі частіше заповнюють гелієм, оскільки він не горить і тому безпечніший.

Для повітроплавання важливо враховувати те, що з висотою густина повітря зменшується, а отже зменшується і **архімедова сила**. У зв'язку з цим, з повітряної кулі скидають спеціально взятий для цього баласт (висипають пісок з мішків). Для опускання кулі з її оболонки за допомогою спеціального клапана випускають частину газу.

Повітряні кулі застосовують з різною метою: для наукових експедицій, для фотографування поверхні землі та моря, скупчення тварин. Для дослідження верхніх шарів атмосфери запускають невеликі, діаметром  $1\text{--}2 \text{ м}$ , повітряні кулі-зонди з відповідною апаратурою. Відомості, які дістають за допомогою таких куль-зондів, дуже важливі для прогнозування погоди.

Тепер стали досить поширені спортивні змагання, фестивалі та подорожі на повітряних кулях. У нашій країні діють різні повітроплавальні клуби і товариства, які надають послуги подорожування на повітряній кулі над містами України (рис. 3.82)

Рис. 3.82. Подорожі над містами України на повітряній кулі





Обов'язковим і головним елементом *повітроплавального апарата* є велика і дуже легка оболонка, яка заповнюється газом, густина якого менша за густину повітря.

Різницю між вагою  $1 \text{ м}^3$  повітря і вагою такого самого об'єму газу називають *піднімальною силою*  $1 \text{ м}^3$  газу.



### Запитання для самоперевірки

1. На чому ґрунтується повітроплавання?
2. Що таке піднімальна сила газу?
3. Яким чином регулюється висота підйому повітряної кулі?

### Найголовніше у розділі 3

Сучасна фізична наука розрізняє чотири фундаментальні взаємодії: *гравітаційну, електромагнітну, ядерну (сильну) та слабку*.

Взаємодія між тілами, результатом якої є зміна швидкості руху тіл або зміна їх форми, називається *механічною взаємодією*.

Загальною характеристикою взаємодії тіл є фізична величина, яка називається *сила*. Силу позначають великою латинською літерою  $F$ . Одиницею сили є **1 ньютон** (1 Н). Сила характеризується абсолютною величиною (модулем), напрямом (сила завжди діє в певному напрямі) та точкою прикладання.

Сила, що дорівнює геометричній сумі всіх сил, прикладених до тіла, називається *рівнодійною*.

**Інерція** – явище збереження швидкості руху тілом за відсутності дії інших тіл.

**Інертність** – властивість, яку мають усі тіла. Вона полягає в тому, що для зміни швидкості тіла на певну величину необхідно, щоб на нього певний час подіяло інше тіло.

**Маса** – це фізична величина, що характеризує інертність і є мірою інертності даного фізичного тіла.

Будь-яке тіло має масу. Маса позначається буквою ( $m$ ). За одиницю маси в СІ прийнятий кілограм.

**Густина** визначає масу речовини в одиниці об'єму. Густина позначається буквою  $\rho$  (грецька буква «ро») і визначається за формулою  $\rho = \frac{m}{V}$ , де маса –  $m$ , об'єм тіла –  $V$ .





Силу, завжди направлену вертикально вниз і прикладену до центра тіла, називають силою тяжіння. **Сила тяжіння** прямо пропорційна масі даного тіла  $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$ .

**Деформацією** називається зміна форми чи розмірів тіла внаслідок зовнішньої дії на нього інших тіл.

Види деформацій: *стискування, розтягування, вигин, зсув, кручення*.

**Модуль** (величина) **сили пружності** при розтягуванні (чи стискуванні) тіла прямо пропорційний його подовженню. Математично записати **закон Гука** можна так:  $F_{\text{пр}} = k\Delta x$ , де  $k$  – коефіцієнт пружності або жорсткості досліджуваного зразка (одиниця в СІ – Н/м), визначає величину сили пружності, що виникає у досліджуваному зразку при подовженні його на одиницю, залежить від фізичних властивостей досліджуваного зразка;  $\Delta x$  – подовження дослідного зразка або його величина деформації.

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

**Сила тертя** – це сила взаємодії між дотичними тілами, що чинить протидію переміщенню одного тіла відносно іншого. Сила тертя завжди направлена проти переміщення уздовж поверхонь дотичних тіл.

Виділяють дві причини виникнення тертя: шорсткість поверхонь, взаємодія молекул дотичних поверхонь.

Розрізняють декілька видів тертя: **тертя спокою, тертя ковзання, тертя кочення**.

Величину, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні, називають тиском. Щоби 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.

**Тиск газу** на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло) спричинюється ударами молекул газу.

**Тиск газу** залежить від концентрації молекул і температури: а) зі зменшенням концентрації молекул тиск зменшується, а зі збільшенням – збільшується, за умови, що температура газу не змінюється; б) зі зростанням температури газу його тиск збільшується, за умови, що маса газу не змінюється.

Як для рідин, так і для газів характерна спільна властивість: вони передають тиск в усіх напрямках однаково (**закон Паскаля**).

**Тиск рідини** на дно посудини залежить тільки від густини і висоти стовпа рідини:  $p = \rho gh$ .





Безперервний хаотичний рух молекул повітря зумовлює атмосферний тиск.

За одиницю **атмосферного тиску** взято 1мм ртутного стовпа (1мм рт. ст.). 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.**

Співвідношення між цією одиницею і відомою нам одиницею тиску – **паскалем**: 1 мм рт.ст. = 133,3 Па.

У сполучених посудинах будь-якої форми **поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні** (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий).

**При однакових тисках** висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша за висоту стовпчика рідини з меншою густиною:  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$  або

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

**Виштовхувальна сила**, що діє на занурене у рідину тіло, визначається за формулою:  $F = \rho g V$ , де  $\rho$  – густина рідини, в яку повністю занурене тіло об'ємом  $V$ .

**Закон Архімеда**: на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі цього тіла.

**Знаючи густину тіла і густину рідини**, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині:

- ...якщо густина тіла більша за густину рідини,  $\rho_t > \rho_r$ , то воно тоне;
- ...якщо густина тіла дорівнює густині рідини,  $\rho_t = \rho_r$ , то тіло не тоне і не спливає;
- ...якщо густина тіла менша за густину рідини,  $\rho_t < \rho_r$ , то тіло спливає.

### Завдання для самоперевірки з розділу «Взаємодія тіл. Сила» (Тиск твердих тіл рідин, газів)

**1 (п).** Якщо тіло рухається по поверхні іншого тіла, то виникає...

- |                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| А) сила тяжіння; | Б) сила пружності;    |
| В) сила тертя;   | Г) гравітаційна сила. |

**2 (п).** Маса – це фізична величина, яка характеризує...

- |                     |  |
|---------------------|--|
| А) інертність тіла; | Б) швидкість тіла;                           |
| В) вагу тіла;       | Г) гравітаційні та інертні властивості тіла. |



**3 (п).** *Одиницею тиску є :*

- А) кГ      Б) Па      В) Н      Г) Н/м

**4 (п).** *Гравітаційна сила – це сила, з якою...*

- А) тіла відштовхуються одне від одного  
Б) тіла притягуються одне до одного  
В) тіла притягуються або відштовхуються одне від одного  
Г) тіла тиснуть одне на одне

**5 (п).** *Прилад для вимірювання атмосферного тиску називають:*

- А) манометр    Б) барометр    В) насос    Г) динамометр

**6 (п).** *Метод гідростатичного зважування ґрунтується на законі:*

- А) Гука    Б) Паскаля    В) Архімеда    Г) всесвітнього тяжіння

**7 (с).** *Взаємодією тіл називається...*

- А) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони змінюють свою масу  
Б) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони змінюють швидкість і напрям руху, а також деформуються  
В) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони притягуються  
Г) вплив тіл одне на одне, в результаті чого вони деформуються

**8 (с).** *Виберіть усі правильні твердження:*

- А) сила пружності спрямована в ту ж сторону, що й зміщення частинок тіла  
Б) пружна деформація описується законом Гука  
В) сила пружності прямо пропорційна величині деформації  
Г) коефіцієнт жорсткості залежить від сили пружності

**9 (д).** *Довжина пружини дорівнює 10 см. Під дією сили 4 Н пружина видовжилась на 2 см. Якою буде довжина пружини, якщо на неї діятиме сила 18 Н?*

**10 (д).** *Чому дорівнює тиск (із урахуванням атмосферного тиску, що становить 760 мм рт. ст.) на глибині 10 м під водою?*

**11 (в).** *Крижина об'ємом 0,1 м<sup>3</sup> пливає в річці. Вкажіть усі правильні твердження:*

- А) архімедова сила врівноважує силу тяжіння



- Б) на крижину діє архімедова сила 10 кН;
- В) якщо на крижину сяде зграя птахів, архімедова сила не зміниться;
- Г) якщо течія винесе крижину в море, висота надводної частини крижини збільшиться.

**12 (в).** На тіло, цілком занурене у воду, діє виштовхувальна сила 100 Н.  
Укажіть усі правильні твердження:

- А) вага витісненої тілом води дорівнює 100 Н;
- Б) маса витісненої тілом води дорівнює 100 кг;
- В) об'єм тіла дорівнює 10 дм<sup>3</sup>;
- Г) виштовхувальна сила визначається за формулою  $F = \rho gh$ .







## Розділ 4. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

З практичного досвіду ми знаємо, що всі навколишні тіла взаємодіють між собою. Внаслідок взаємодії тіла можуть змінювати свою швидкість. Взаємодія тіл може бути тривалою, як, наприклад, дія сили земного тяжіння на тіло, або ж короткотривалими – удар футболіста по футбольному м'ячу. Вивчаючи попередній розділ, ви ознайомилися зі способами вимірювання сил, які діють на тіло тривалий час. Значно складніше виявити особливості та виміряти значення сил під час короткотривалих взаємодій, таких як удар молотка по цвяху під час його забивання, стикання більярдних куль, виліт снаряда зі ствола зброї тощо. Зміни механічного стану сукупності тіл можна дослідити, проаналізувавши особливості взаємного розміщення тіл, що входять до системи, та зміни їх руху. Для кількісної характеристики зміни стану тіла під дією сили є **фізична величина – механічна робота**.

Виявляється, з давніх-давен людина, спочатку інтуїтивно, а потім на основі багаторічних спостережень, дійшла висновку, що тіла, які перебувають у постійному русі, повинні мати властивості, які не змінюються. Вам відомо, що рух від одного тіла може «переходити» до іншого, одне фізичне явище може бути наслідком іншого і, загалом, цей процес є нескінченним у природі. Проте існують фізичні величини, якими характеризується рух і які зберігаються за певних умов. Однією з таких величин є **енергія**. Властивість енергії зберігатися є одним із фундаментальних законів як у механіці, так і в цілому у фізиці. Вивчення і використання таких понять як механічна робота та енергія в механічних процесах дає можливість значно спростити розв'язання багатьох фізичних задач.

### § 38. Механічна робота

- **Механічна робота та одиниці її вимірювання**
- **Можливі значення механічної роботи**
- **Правила розв'язування задач про роботу постійної сили**

**Механічна робота та одиниці її вимірювання.** Навколишні тіла, перебуваючи під дією сил, можуть рухатися та змінювати свій стан. Говорять, що при цьому виконується механічна робота. Проте в повсякденному житті роботою називають будь-яку корисну працю. Наприклад, працю учня, який сидить за партою і навчається; працю вчителя, який стоїть у класі й пояснює учням навчальний матеріал, працю науковця, який сидить біля



комп'ютера і створює нові проекти тощо. Отже, поняття роботи у фізиці дещо відрізняється від повсякденного.

Фізичне поняття механічної роботи зводиться до надання руху навколишнім тілам, або їх зупинки чи деформації. Якщо одне тіло діє на інше з певною силою, і тіло переміщується під її дією, то говорять, що сила виконує механічну роботу.

**Механічна робота** – це фізична величина, яка є кількісною мірою дії сили. Вона залежить від чисельного значення сили, її напрямку та від переміщення точки прикладання сили.



Рис. 4.1. Механічна робота залежить від прикладеної сили та величини переміщення

Механічну роботу позначають великою латинською літерою  $A$ . Якщо тіло здійснює переміщення у напрямі дії сили (рис. 4.1), то робота сили чисельно дорівнює добутку цієї сили і переміщення  $s$ , тобто

$$A = Fs.$$

За цією формулою розраховують роботу постійної сили, під дією якої тіло переміщується прямолінійно. **Робота є величиною скалярною** (нагадуємо, тобто визначається тільки чисельним значенням). В СІ одиницею роботи є **джоуль** (Дж). Одиниця роботи була названа на честь англійського вченого Джеймса Прескотта Джоуля (1818-1889).

$$[A] = \text{Дж}$$

1 Дж визначається як робота сили в 1 Н під час переміщення точки її прикладання на 1 м:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

**Можливі значення механічної роботи.** Які ж значення може мати механічна робота? Вважають, що **механічна робота буде додатною, якщо тіло здійснює переміщення в напрямку дії сили**. Наприклад, якщо ви піднімаєте свій рюкзак, то робота сили ваших м'язів є додатною. Додатною є робота сили тяги коня, оскільки вона напрямлена уздовж переміщення (рис. 4.2).



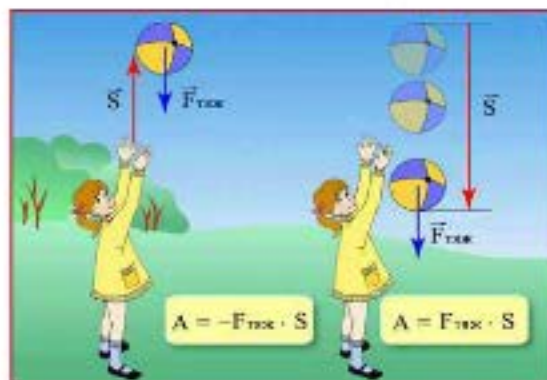
Рис. 4.2. Додатною є робота сили тяги коня





Проте на ваш рюкзаак діє сила земного тяжіння, що напрямлена донизу. Так от, робота сили земного тяжіння під час підняття вами рюкзака є від'ємною. Тобто **коли тіло переміщується в напрямі, протилежному напрямку дії сили, робота сили є від'ємною**. Від'ємну роботу, як правило, виконують сили тертя, які направлені проти руху. Разом із тим, зверніть увагу, що робота сил тертя може бути і додатною (наприклад, сила тертя спокою, що прикладена до людини на ескалаторі, спрямована у бік його руху).

Рис. 4.3. Робота сили може бути як додатною, так і від'ємною



Отже, робота сили може бути як додатною, так і від'ємною. Уважно розгляньте рис. 4.3 та зробіть висновок, коли робота сили, зокрема сили тяжіння, буде більшою, а коли меншою нуля.

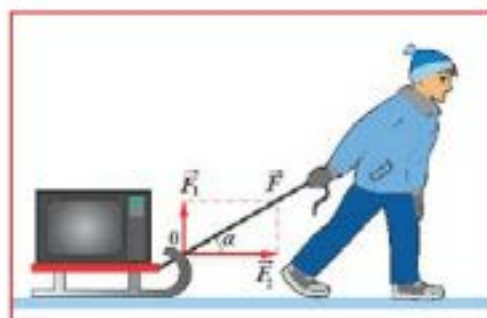


Рис. 4.4. Сила тяжіння не виконує роботу під час переміщення тіла по горизонтальній поверхні та під час руху супутника по коловій орбіті

Виявляється, що робота сили, механічна робота, може дорівнювати нулю, тобто сила роботу не виконуватиме. Сила не виконує роботу, якщо кут між напрямом дії сили та переміщення складає  $90^\circ$ . Наприклад, не виконує роботу сила тяжіння під час переміщення тіла по горизонтальній поверхні, під час руху супутника по коловій орбіті (рис. 4.4.). Крім того, робота сили дорівнюватиме нулю, якщо переміщення тіла  $S=0$ . Це може бути, коли тіло





не рухається під дією сили, наприклад, ви дієте з певною силою на стіну, яка лишається на місці. Отже, можливо ви і втомилися, проте механічна робота сили ваших м'язів дорівнює нулю. Іншим прикладом випадку, коли робота сили дорівнює нулю, є рух тіла по замкненій траєкторії, тобто коли через певний проміжок часу тіло повертається в попередню точку простору. Ну і нарешті ще одним випадком, коли робота сили дорівнює нулю є рух тіла за інерцією, коли сила тяги, що діє на тіло, дорівнює нулю, хоча саме тіло і рухається.

### Правила розв'язування задач про роботу постійної сили:

- виконати малюнок, показавши на ньому сили, прикладені до тіла;
- встановити, роботу якої сили потрібно визначити, і записати вихідну формулу  $A = F \cdot s$ ;
- якщо силу в умові задачі не задано, її треба знайти;
- знайти значення переміщення (якщо воно невідоме);
- підставити знайдені вирази для  $F$  і  $s$  у формулу роботи й виконати обчислення.

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Визначимо роботу, яку виконав вантажник, перемістивши по підлозі візок на 10 м, діючи на нього з горизонтальною силою 100 Н.

Дано:

$$s = 10 \text{ м}$$

$$F = 100 \text{ Н}$$

$A = ?$

Розв'язування

$$A = F \cdot s;$$

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж};$$

$$A = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ (Дж)}.$$

**Відповідь:**  $A = 1 \text{ кДж}$ .

**Задача 2.** Яку роботу потрібно виконати, щоб тіло масою 20 кг підняти на висоту 20 м?

Дано:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$h = 20 \text{ м}$$

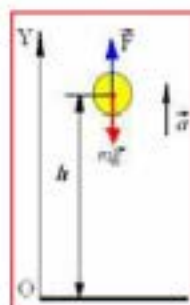
$A = ?$

$$[A] = \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}; \quad A = 20 \cdot 0,98 \cdot 20 = 3920 \text{ (Дж)}.$$

**Відповідь:**  $A = 3,92 \text{ кДж}$ .

Розв'язування

За умовою задачі необхідно виконати роботу з подолання сили тяжіння, що діє на тіло:  $A = Fs$ ;  $F = mg$ ;  $A = mgh$ ;





1. Що називають механічною роботою?
2. За якою формулою обчислюють механічну роботу?
3. У яких випадках про силу можна сказати, що вона виконує роботу?
4. Сила земного тяжіння виконує роботу, коли:
  - a) тіло рухається вертикально вгору;
  - б) тіло рухається вертикально вниз;
  - в) тіло висить на пружині.
5. Наведіть приклади, коли одні й ті самі сили виконують різні за знаком роботи.
6. Уявіть ситуацію: ви тиснете на стіл рукою під кутом  $30^\circ$ . При цьому стіл стоїть на місці й робота не виконується. На що ж витрачається тоді дія сили?
7. Чи залежить робота від вибору системи відліку?
8. Автомобіль рухається по рівній дорозі. Чи здійснює роботу сила тяжіння, що діє на автомобіль?



### Головне у цьому параграфі

**Механічна робота** – це фізична величина, яка є кількісною мірою дії сили.

Механічна робота залежить від чисельного значення сили, її напрямку та від переміщення точки прикладання сили.

**Робота сили** дорівнює добутку сили та переміщення:  $A = Fs$ .

За одиницю роботи беруть **джоуль**:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$ .

Робота сили земного тяжіння та сили пружності по замкненій траєкторії дорівнює нулю.

## § 39. Потужність

З попереднього параграфа вам відомо, що механічна робота є кількісною мірою дії сили і залежить від величини сили, її напрямку і напрямку переміщення тіла під дією сили, проте робота не залежить від часу. Оскільки на практиці важливо знати **швидкість виконання роботи**, тому використовують фізичну величину, яка визначає *роботу, виконану за одиницю часу, тобто потужність*.

**Потужність** – фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню роботи  $A$  до проміжку часу  $t$ , за який ця робота була виконана.



$$P = \frac{A}{t}$$

Потужність позначають великою латинською літерою *P*. *Одиницею* потужності є **ват** (Вт). Потужність 1 Вт розвивається, якщо виконується робота в 1 Дж за 1 с.

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Для вимірювання потужності великих механізмів використовують кіловати та мегавати:

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт (10}^3 \text{ Вт)};$$

$$1 \text{ МВт} = 1000000 \text{ Вт (10}^6 \text{ Вт)}.$$

Першим ученим, який почав вимірювати потужність, був **Джеймс Ватт** (1736–1819). Для вимірювання потужності він використовував *одиницю вимірювання* – **кінську силу** (к.с.). Ця фізична величина була введена ним для порівняння можливостей парової машини і коня виконувати механічну роботу. Кінська сила використовується і до цього часу як позасистемна одиниця потужності:  $1 \text{ к.с.} \approx 735 \text{ Вт}$ .



**Джеймс Ватт (1736–1819)** – шотландський інженер,  
винахідник-механік

Оскільки потужність є мірою швидкості виконання роботи, то якимось чином має бути пов'язана зі швидкістю тіла. Спробуємо встановити цю залежність. З попереднього параграфа ви знаєте, що механічна робота визначається за формулою  $A = Fs$ , отже:

$$P = \frac{Fs}{t}.$$

Проте відношення переміщення тіла до часу його здійснення є швидкістю тіла, тобто

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

Таким чином, можна записати залежність

$$P = Fv.$$





Одержана залежність має велике значення в різних виробничих процесах. Наприклад, можна обчислити потужність автомобільного двигуна, щоб на певних складних ділянках дороги він мав необхідну швидкість. З одержаної формули випливає, що за певного значення потужності двигуна чим більшою буде його сила тяги, тим меншою буде швидкість автомобіля. Тому на складних ділянках дороги коробки передач перемикають на меншу швидкість.



### Головне у цьому параграфі

**Потужність** характеризує швидкість виконання роботи:

$$P = \frac{A}{t}$$

Одиницею потужності є **ват** (Вт).



### Запитання для самоперевірки

1. Яку фізичну величину називають потужністю?
2. Як можна обчислити потужність, знаючи роботу та час її виконання?
3. В яких одиницях в системі СІ вимірюють потужність?
4. Назвіть технічну одиницю потужності.
5. Порівняйте потужність двигуна тролейбуса у випадках коли він рухається з однаковою швидкістю з пасажирями та без них.
6. Чому навантажений пароплав рухається повільніше, ніж без вантажу, адже потужність двигуна в обох випадках є однаковою?
7. Вкажіть за якого значення швидкості трактора 3,08 км/год; 4,18 км/год чи 5,95 км/год його сила тяги буде найбільшою? Потужність трактора є незмінною.

### Вправа 23

1 (с). Вантаж масою 50 кг піднімають на висоту 20 м під дією сили 100 Н. Визначити роботу, що виконується. Вважати  $g = 10$  Н/кг.

2 (с). Визначити потужність двигуна автомобіля, який розвиває силу тяги 500 Н за швидкості 72 км/год.

3 (д). На балкон, розташований на висоті 6 м, кинули з поверхні землі предмет масою 200 г. Під час польоту предмет досяг максимальної висоти 8 м від поверхні землі. Визначити роботу сили тяжіння під час польоту предмета вгору, вниз і на всьому шляху. Вважати  $g = 10$  Н/кг.

4 (д). Визначити роботу, яку здійснює двигун потужністю 100 кВт за 20 хвилин.



5 (д). З греблі висотою 22 м за 10 хвилин падає 500 т води. Визначити потужність водяного потоку в цьому випадку. Вважати  $g=10 \text{ Н/кг}$ .

6 (д). Людина йде по дорозі впродовж 2 годин і робить 10 000 кроків. За кожен крок людина здійснює роботу 40 Дж. Визначити потужність, з якою рухається людина під час ходьби.

7 (в). Баштовий кран піднімає у горизонтальному положенні сталеву балку завдовжки 5 м і перерізом  $100 \text{ см}^2$  на висоту 12 м. Яку корисну роботу виконує кран? Прийняти густину сталі  $7800 \text{ кг/м}^3$ ,  $g=10 \text{ Н/кг}$ .

8 (в). У воді на глибині 5 м є камінь об'ємом  $0,6 \text{ м}^3$ . Визначити роботу, яку необхідно виконати, щоби витягти камінь з води на її поверхню. Густина каменя  $2500 \text{ кг/м}^3$ , густина води  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Вважати  $g=10 \text{ Н/кг}$ .

9 (в). Транспортер піднімає  $30 \text{ м}^3$  піску за 1 годину на висоту 6 м. Визначити потужність двигуна, необхідну для виконання цієї роботи. Густина піску  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Прийняти  $g=10 \text{ Н/кг}$ .

## § 40. Механічна енергія та її види

- Механічна енергія
- Потенціальна енергія
- Кінетична енергія

**Механічна енергія.** З повсякденного досвіду вам відомо, щоб забити цвях, потрібно підняти молоток і вдарити ним. Так само, щоби забити палі на будівництві, піднімають і опускають металеву бабу. Щоб одна кулька виконала роботу і привела в рух іншу кульку, потрібно надати першій кульці певну швидкість. У механіці *фізичну величину, що показує здатність тіла виконувати механічну роботу, називають енергією*. Механічна енергія є характеристикою стану тіл або їх системи. Механічну енергію позначають літерою  $W$ .

*Зміна механічної енергії під час переходу системи з одного стану в інший дорівнює виконаній роботі:*

$$A = W_1 - W_2,$$

де  $W_1$  – енергія, що визначає початковий стан системи,  $W_2$  – енергія системи тіл через деякий час. Оскільки йдеться про можливість виконання роботи, то енергію доцільно вимірювати тими самими одиницями, що й роботу. Тому *одиницею енергії є джоуль*.

Якщо  $A > 0$ , це означає, що під час переходу з одного стану в інший енергія системи зменшилася, тобто ( $W_2 < W_1$ ), а отже частина енергії системи





пішла на виконання роботи. Наприклад, енергія, надана пружині механічного годинника, поступово вичерпується і через певний проміжок часу рух його механізму припиняється. З тієї ж причини автомобіль, який рухається з вимкненим двигуном, зупиняється через певний проміжок часу. Якщо ж  $A < 0$ , це означає, що  $W_2 > W_1$ , тобто, енергія системи збільшилася. При цьому вже не сама система виконує механічну роботу, а над цією системою інші тіла або системи тіл виконують роботу. Буксир надає швидкості нерухомому автомобілю, збільшуючи його механічну енергію.

З наведених прикладів можна побачити, що зміна механічної енергії тіла або системи тіл може відбуватися у двох випадках. Зокрема, якщо змінюється взаємне розміщення тіл, що входять до системи, тобто їх координата. З другого боку, механічна енергія змінюється, коли змінюється швидкість тіл системи. Таким чином, у механіці розрізняють дві складові енергії системи тіл. Перша визначається положенням тіл або його частин, інша – їх швидкістю. Отже, у фізиці розрізняють два види механічної енергії: потенціальну й кінетичну.

**Потенціальна енергія.** Розглянемо більш детально випадки, коли тіла мають потенціальну енергію. Наприклад, потенціальну енергію має тіло, підняте над поверхнею Землі, стиснута пружина, вода у водоспаді тощо. У кожному з наведених прикладів сила, що діє на тіло, може виконувати роботу, перемістивши тіло з одного положення в інше. Так, м'яч, який перебуває на деякій висоті над поверхнею землі, під дією сили земного тяжіння буде рухатися донизу, якщо його відпустити (рис. 4.5). При цьому сила земного тяжіння виконуватиме роботу

$$A = mgh.$$

де  $h$  – висота м'яча над землею поверхнею. Висота  $h$  характеризує взаємне розміщення м'яча і Землі. В цьому випадку поверхню землі називають нульовим рівнем.

Нульовим рівнем називають уявну поверхню, відносно якої розглядають положення тіла.

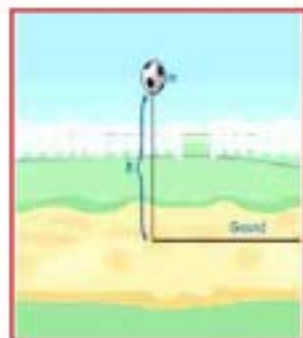


Рис. 4.5. Тіло масою  $m$  має потенціальну енергію, коли перебуває на висоті  $h$  над поверхнею нульового рівня





Величину, що характеризує енергію взаємодії тіла або системи тіл із Землею і дорівнює добутку їх маси  $m$  на величину  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$  та на висоту тіла  $h$  над поверхнею нульового рівня, називають **потенціальною енергією взаємодії тіла та Землі**:

$$W_{\text{в}} = mgh.$$

Оскільки за нульовий рівень можна взяти поверхню будь-якого тіла, то значення висоти  $h$ , а отже і потенціальна енергія, можуть набувати різних значень, тобто потенціальна енергія є **відносною величиною**. Значення потенціальної енергії залежить від того, яке тіло ми беремо за нульовий рівень. Наприклад, коли м'яч підняли в кімнаті на деяку висоту, то за нульовий рівень можна взяти поверхню столу, поверхню підлоги або ж поверхню землі. Поміркуйте, в якому випадку потенціальна енергія тіла буде найбільшою?

Як і у випадку сили земного тяжіння, стиснута пружина може перемістити прикріплене до неї тіло (рис. 4.6). При цьому сила пружності виконає роботу

$$A = \frac{kx^2}{2},$$

де  $x$  – зміщення тіла відносно початкового положення;  $k$  – жорсткість пружини (деформованого тіла).

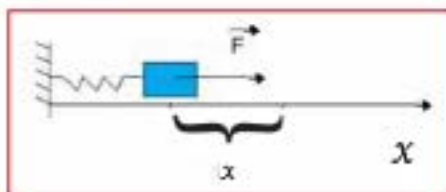


Рис. 4.6. Стиснута пружина може перемістити прикріплене до неї тіло, а отже, має потенціальну енергію

Величину, що характеризує енергію взаємодії частин стиснутої пружини, називають **потенціальною енергією пружно деформованого тіла**

$$W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}.$$

Аналізуючи випадки руху кульки під дією сили тяжіння або ж сили пружності можна зробити такий висновок: якщо на тіло діє певна сила, то воно має потенціальну енергію.

**Потенціальною енергією називають енергію взаємодії тіл або ж частин тіла.**



**Кінетична енергія.** Потенціальна енергія тіла визначається його початковим і кінцевим положеннями й не залежить від особливостей переходу з одного стану в інший. Разом із тим, перехід механічної системи з одного стану в інший відбувається через механічний рух, характеристикою якого є швидкість. Тому розгляньмо залежність механічної енергії тіла або системи тіл від швидкості.

Молоток, маючи певну швидкість, б'є по цвяху і переміщує його на певну відстань. При цьому виконується механічна робота. М'яч, що випадково потрапив у вікно, розбиває скло і також виконує механічну роботу. Безліч таких прикладів можете навести і ви. Проте поміркуймо над питаннями: «Чому тіло виконало роботу?», «Внаслідок чого воно мало енергію?», «Від чого залежить величина цієї енергії?». Гадаємо, що ви були уважні й, тому зробили правильні висновки:

- 1) оскільки тіло виконало роботу, то воно мало енергію;
- 2) тіло мало енергію внаслідок свого руху;
- 3) енергія рухомого тіла залежить від його швидкості та маси: зі збільшенням цих величин енергія тіла збільшується.

**Кінетична енергія тіла** – це фізична величина, що визначає енергію рухомого тіла. Вона дорівнює половині добутку маси тіла ( $m$ ) на квадрат його швидкості ( $v$ )

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Зрозуміло, що кінетичну і потенціальну енергію вимірюють у тих самих одиницях, що й роботу, тобто у джоулях.

Наостанку зазначимо, що оскільки швидкість тіла є відносною величиною, оскільки залежить від вибору системи відліку, то і кінетична енергія є також відносною величиною.



### Головне у цьому параграфі

**Механічною енергією** називається фізична величина, що характеризує стан тіла або системи тіл, а її зміна під час переходу системи з одного стану в інший дорівнює виконаній роботі.

Величину, що характеризує енергію взаємодії тіла або системи тіл, називають **потенціальною енергією**.

Потенціальна енергія взаємодії тіла та Землі:  $W_n = mgh$ .

Пружно деформоване тіло має потенціальну енергію:  $W_n = \frac{kx^2}{2}$ .



Рухоме тіло має **кінетичну енергію**. Кінетична енергія тіла – це фізична величина, що дорівнює половині добутку маси тіла на квадрат його швидкості:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Енергію вимірюють у тих самих одиницях, що й роботу, тобто у **джоулях**.



## Запитання для самоперевірки

1. Чи всі тіла мають потенціальну енергію? Відповідь пояснити.
2. Як змінюється потенціальна енергія тіла під час його вільного падіння?
3. Порівняйте потенціальну енергію книжки на робочому столі в класній кімнаті, у рюкзаку альпініста на Говерлі та на космічній станції.
4. Порівняйте потенціальну енергію двох тіл однакової маси  $m$ , розташованих на однаковій висоті  $h$  над поверхнею Землі. Одне тіло прикріплене до пружини, а друге лежить на поверхні.
5. Наведіть приклади тіл, які мають кінетичну енергію.
6. Чи можуть бути кінетична і потенціальна енергії тіла від'ємними?
7. Яка з енергій тіла, потенціальна чи кінетична, залежить від вибору системи відліку? Відповідь обґрунтуйте.

## § 41. Закон збереження й перетворення енергії в механічних процесах і його практичне застосування

- **Закон збереження і перетворення повної механічної енергії**
- **Робота сил тертя і механічна енергія**

### Закон збереження і перетворення повної механічної енергії.

Ви вже знаєте, що всі тіла взаємодіють між собою. Сили взаємодії між одними тілами можуть бути істотними і впливати на поведінку тіл. Між іншими ж тілами сила взаємодії може бути настільки малою, що нею можна знехтувати, оскільки вона суттєво не впливає на тіла.

**Сукупність фізичних тіл, у яких взаємодія з навколишнім простором є неістотною, порівняно зі взаємодією між тілами сукупності, називають замкнутою системою.**

Наприклад, коли маленька залізна кулька здійснює вільне падіння, то на зміну її швидкості істотний вплив чинить взаємодія з Землею. Отже, можна сказати, що кулька і Земля складають замкнуту систему. При цьому зрозуміло, що кулька, відповідно до закону всесвітнього тяжіння, взаємодіє із





Сонцем, Місяцем, спостерігачем тощо, але під час вільного падіння ці тіла не чинять істотного впливу на її рух.

Виявляється, що під час руху тіл в замкнутій системі може змінюватися швидкість руху тіл та їх взаємне розташування і, відповідно, змінюється кінетична та потенціальна енергія тіл системи. Проте повна механічна енергія замкнутої системи залишається сталою.

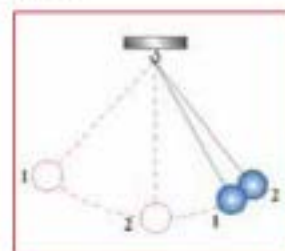
**Повною механічною енергією системи називають суму потенціальної та кінетичної енергії:**

$$W = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}.$$

*Якщо в замкнутій системі діють тільки сили тяжіння й пружності, то повна механічна енергія системи залишається сталою. Можливе лише взаємне перетворення потенціальної та кінетичної енергії системи.*

Звернімося до досліду. Розглянемо замкнуту механічну систему, в якій діють сили тяжіння і сили пружності. Наприклад, у замкнутій системі, яка складається з кульки та Землі (рис. 4.7) на кульку діє сила земного тяжіння  $mg$  та сила пружності нитки, тобто сила натягу нитки  $\vec{T}$ .

Рис. 4.7. Замкнута механічна система, яка складається з кульки та Землі



Ці сили зрівноважені, і кулька перебуває у стані спокою. Візьмемо за нульовий рівень положення рівноваги кульки (положення 0). Тоді висота кульки над поверхнею нульового рівня  $h_0 = 0$  і відповідно потенціальна енергія кульки  $W_{\text{п}} = 0$ . Якщо відвести кульку в положення 1, то над системою буде виконана робота і кульці буде надана потенціальна енергія  $W_{\text{п}} = mgh$ . Затримаємо кульку в положенні 1. В цей час (коли кулька не рухається, її кінетична енергія  $W_{\text{к}} = 0$ ). Відпустимо кульку. Під дією сили  $F$  кулька почне рухатися від положення 1 до положення рівноваги. Під час руху кульки донизу її швидкість збільшуватиметься від 0 до максимального значення. Швидкість кульки буде максимальною в найнижчій точці, точці 0. Потім кулька продовжить свій рух від точки 0 до точки 2. Досягнувши найвищої точки в положенні 2, кулька на мить зупиниться, а потім продовжить свій рух. Рух кульки буде повторюватися. Такий рух називають **коливальним**.



Поміркуйте, як буде змінюватися кінетична та потенціальна енергія кульки під час такого руху. Гадаємо, що відповідь була дана правильно:

1) коли кулька перебувала в стані спокою в положенні 1 на максимальній висоті, її потенціальна енергія була максимальною, а кінетична енергія дорівнювала 0, оскільки кулька не рухалася;

2) під час руху кульки з положення 1 до положення 0 потенціальна енергія кульки зменшувалася, оскільки зменшувалася її висота відносно нульового рівня, а кінетична ж енергія зростала, оскільки зростала швидкість кульки;

3) у положенні 0 швидкість кульки була максимальною і вона мала максимальну кінетичну енергію  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ , а її потенціальна енергія дорівнювала 0;

4) під час руху кульки з положення 0 до положення 2 потенціальна енергія кульки збільшувалася, оскільки збільшувалася її висота відносно нульового рівня, а кінетична ж енергія зменшувалася, оскільки зменшувалася швидкість кульки;

5) у положенні 2 кулька мала максимальну потенціальну енергію, а її кінетична енергія дорівнювала 0.

Результати дослідження показали, що збільшення кінетичної енергії системи дорівнює зменшенню її потенціальної енергії і навпаки. При цьому повна механічна енергія системи залишається сталою.

**Робота сил тертя і механічна енергія.** З попереднього пункту ви з'ясували, що у замкненій системі повна механічна енергія є величиною сталою. При цьому можливе лише взаємне перетворення потенціальної та кінетичної енергії системи. За умови відсутності сили тертя підвісу та опору повітря (рис. 4.7) кулька буде рухатися як загодно довго, зберігаючи свою енергію сталою. У реальних умовах абсолютно замкнених систем не існує, оскільки на тіла діє сила тертя. Робота сили тертя є від'ємною, оскільки сила тертя напрямлена протилежно переміщенню тіла. Отже, за наявності сил тертя, механічна енергія системи зменшуватиметься. Цим пояснюються і затухання коливань кульки на нитці, й зупинка велосипеда, рух якого не підтримується.

Разом із тим, зменшення повної механічної енергії системи не вказує на порушення закону збереження. Енергія поступово переходить із механічної в інші форми. Наприклад, під час тертя тіла нагріваються. Проте й інші види енергії (теплова, хімічна, електрична тощо) також можуть переходити у механічну. При цьому виконується закон збереження енергії як єдиної міри різних видів руху матерії. Поміркуйте та наведіть приклади таких перетворень.





## Приклади розв'язування задач

Загальну схему розв'язування задач на закон збереження енергії можна подати так:

- виконати схематичний малюнок і визначити перше й друге положення тіла, що розглядається за умовою задачі (це, зазвичай, початкове та кінцеве положення);
- обрати нульовий рівень відліку потенціальної енергії. Нульовий рівень можна обрати довільно, але зручніше обирати за найнижчим положенням, що займає тіло під час руху;
- визначити повну енергію системи в обох випадках. Після цього записують закон збереження енергії:  $W_1 = W_2$ , тобто  $W_{K1} + W_{П1} + W_{K2} + W_{П2}$ ;
- записати вирази для визначення кінетичної та потенціальної енергії у кожному з положень і скласти рівняння;
- розв'язати рівняння відносно величини, невідомої за умовою задачі.

**Задача.** Кулька масою  $m=100$  г перебуває на вершині похилої площини на висоті  $h_1=1$  м над горизонтальною поверхнею (рис. 4.10). Визначіть кінетичну енергію кульки у кінці похилої площини. Обчисліть на якій висоті швидкість кульки становитиме  $2$  м/с?

Дано:	СИ
$m=100$ г	0,1 кг
$h_1=1$ м	
$v_2=2$ м/с	
$W_{K2} - ?$	
$h_2 - ?$	

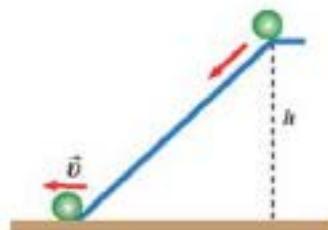


Рис. 4.10. Рис. до задачі

### Розв'язування

На вершині похилої площини кулька має потенціальну енергію

$$W_{П} = mgh_1$$

Якщо цю систему вважати замкненою і не враховувати силу тертя (тертя кочення буде незначним), то під час скочування кульки з похилої площини потенціальна енергія кульки зменшується, а кінетична енергія збільшується.

За законом збереження енергії потенціальна енергія кульки в верхній точці (точці 1) дорівнює кінетичній енергії кульки в нижній точці похилої площини (точці 2):

$$W_{П} = W_{K}, \text{ тобто}$$

$$W_{K2} = W_{П1} = mgh_1$$

$$W_{K2} = 0,1 \cdot 9,8 \cdot 1 \approx 1 \text{ (Дж)}$$

Для визначення висоти, на якій швидкість кульки становитиме  $2$  м/с,





скористаємося законом збереження повної механічної енергії ,

$$W_{\kappa 1} + W_{\Pi 1} + W_{\kappa 2} + W_{\Pi 2}$$

$$\text{де } W_{\kappa 1} = 0; W_{\Pi 1} = mgh_1; W_{\Pi 2} = mgh_2; W_{\kappa 2} = \frac{mv_2^2}{2}$$

$$\text{Отже, справедливим є рівняння } mgh_1 = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$\text{Звідки } mgh_2 = mgh_1 - \frac{mv_2^2}{2} \text{ або } h_2 = h_1 - \frac{v_2^2}{2g}$$

$$[h_2] = \text{м} - \frac{\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \text{м} - \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{Н}} = \text{м} - \text{м} = \text{м}.$$

$$\text{Підставимо числові значення } h_2 = 1 - \frac{2^2}{2 \cdot 9,8} \approx 0,8(\text{м}).$$

**Відповідь:** кінетична енергія кульки в нижній точці похилої площини дорівнює 1 Дж; швидкість кульки становитиме 2 м/с на висоті 80 см.



### Це цікаво знати

Розглянутий нами закон збереження і перетворення енергії є дуже важливим законом природи. В історії фізики є багато прикладів, коли винахідники намагалися створити машину, яка була би здатна працювати як завжди довго, здійснюючи при цьому корисну роботу – **вічний двигун**. Впродовж всієї історії людства науковці та винахідники намагаються згенерувати такий пристрій, проте навіть на початку ХХІ століття вічний двигун – це всього лише проект.

Бажання створити вічний двигун було ще у древніх греків. Однак перша письмова згадка про вічний двигун датується приблизно 1150 роком. Індійський поет, математик і астроном **Бхаскара II** описує у своєму вірші незвичайне колесо з прикріпленими навскоси по ободу довгими, вузькими посудинами, наполовину заповненими ртуттю (рис. 4.11). Багато вчених виявляли цікавість до проблеми вічного двигуна, однак жоден проект не був утілений на практиці. У 1775 році Паризька академія наук – найвищий в ту пору науковий трибунал Західної Європи – виступила проти безпідставної віри в можливість створення вічного двигуна і прийняла рішення не розглядати більше заявки на патентування даного пристрою.



Рис. 4.11. У першій письмовій згадці про вічний двигун йдеться про незвичайне колесо з прикріпленими навскоси по ободу довгими, вузькими судинами, наполовину заповненими ртуттю



## Головне у цьому параграфі

**Повною механічною енергією системи** називають суму потенціальної та кінетичної енергії:  $W = W_n + W_k$ .

Якщо в замкнутій системі діють тільки сили тяжіння й пружності, то *повна механічна енергія системи залишається сталою*. Можливе лише взаємне перетворення потенціальної та кінетичної енергії системи.

**Робота сили тертя** є від'ємною, оскільки сила тертя напрямлена проти- лежно переміщенню тіла.

За наявності сил тертя механічна енергія системи зменшуватиметься. Це означає, що *енергія поступово переходить із механічної форми в інші форми*.



## Запитання для самоперевірки

1. Що таке повна механічна енергія тіла чи системи тіл?
2. Сформулюйте закон збереження повної механічної енергії системи тіл.
3. Які перетворення енергії відбуваються під час падіння кульки, якщо опір повітря є настільки малим, що ним можна знехтувати? Поясніть ці перетворення.
4. Чому під час підкидання м'яча вгору швидкість його руху поступово зменшується?
5. Чому неможливо створити вічний двигун?

### Вправа 24

1 (с). Футбольний м'яч масою 450 г відлетів від ноги футболіста. Визначити потенціальну енергію м'яча коли він перебував на висоті 4 м. Вважати  $g=10 \text{ Н/кг}$ .

2 (с). Визначити потенціальну енергію, яку ви надаєте пружині динамометра жорсткістю 40 Н/м, коли під час її деформації видовження становитиме 5 см. Яку роботу вам необхідно виконати для такої деформації пружини? Обчислити роботу, яку при цьому виконує сила пружності.





3 (д). Визначити, як зміниться висота підйому кульки пружинного пістолета під час пострілу вертикально вгору, якщо швидкість її вильоту збільшити вдвічі.

4 (д). На яку висоту по похилій площині підніметься кулька, яка рухається зі швидкістю 5 м/с? Силою тертя знехтувати. Вважати  $g=10$  Н/кг.

5 (д). Тіло масою 0,5 кг кинуто вертикально вгору зі швидкістю 4 м/с. Визначити кінетичну і потенціальну енергії тіла під час досягнення ним максимальної висоти.

6 (в). Молот масою 100 кг падає з висоти 4 м. Визначити кінетичну енергію молота на висоті 1 м.

7 (в). Камінь кинуто вертикально вгору зі швидкістю 10 м/с. Визначити висоту, на якій його кінетична енергія дорівнюватиме потенціальній.

8 (в). Для стискання пружини на 1 см потрібно докласти силу 1 Н. Яку енергію повинна мати рухома кулька, щоб стиснути у горизонтальній площині пружину на 10 см?

9 (в). При пострілі з пружинного пістолета вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м. Визначити жорсткість пружини пістолета, якщо вона була стиснута на 10 см. Масою пружини знехтувати.

## § 42. Прості механізми. Машини й механізми

З давніх-давен у процесі своєї діяльності людина використовувала переважно силу власних м'язів. Проте можливості м'язів людини обмежені, тому виникла потреба мати пристрої які би полегшували виконання механічної роботи, тобто давали можливість виконувати роботу, докладаючи менші зусилля (рис. 4.12). **Пристрої, які уможливають перетворення прикладеної сили під час виконання механічної роботи, називають простими механізмами.** У більшості випадків прості механізми використовують для того, щоб збільшити силу дії на тіло у декілька разів або ж зменшити прикладену силу під час виконання роботи. Крім того, прості механізми дозволяють змінювати напрям дії сили на зручніший для людини (рис. 4.13).



Рис. 4.12. Можливості м'язів людини обмежені, тому виникла потреба мати пристрої, які би допомагали виконувати роботу, докладаючи менші зусилля





Рис. 4.13. Прості механізми дозволяють змінювати напрям дії сили на зручніший для людини



До простих механізмів належать такі найдавніші винаходи людства як блок, важіль, коловорот, колесо, похила площина, різновидами якої є клин, гвинт. За допомогою таких механізмів люди і будували піраміди, храми тощо, адже набагато легше переміщувати вантажі, поставивши їх на колеса, колоти кам'яні брили або дерев'яні колоди, користуючись клином – трикутним шматком дерева чи металу. І нині важкі речі, як-от: камені, ящики, навіть автомобілі, людина здатна підняти за допомогою довгого дерев'яного чи металевого стержня або дошки, що має точку опори. Такі пристрої називають важелем. За принципом важеля працює криниця, народна назва якої «журавель». Воду з колодязів зазвичай дістають за допомогою коловороту (рис. 4.14). Проте здавна прості механізми використовували у різних комбінаціях. Комбінований механізм складається з двох або більше простих механізмів. Наприклад у сучасній техніці для перенесення вантажів на будівництвах і підприємствах широко використовуються вантажопідіймальні механізми, незамінними складовими яких можна назвати прості механізми. Прості механізми є складовими різних побутових і промислових машин (4.15).



Рис. 4.14. Воду з колодязів зазвичай дістають за допомогою коловороту



Рис. 4.15. Прості механізми є складовими різних промислових і побутових машин



**Машина** (латинське *machina* від грецького *μηχανή* – рухати) – пристрій, що здійснює механічний рух і призначений для перетворення енергії з метою полегшення праці людини.

Пилосос, холодильник, літак і підйомний кран, ткацький верстат і комбайн, велосипед і автомобіль – усе це приклади машин. Отже, машина – це система, створена людиною яка складається з трьох основних складових: робочого органа, двигуна і механізму, що їх пов'язує. За відсутності однієї з частин машина не працюватиме.



### Головне у цьому параграфі

**Прості механізми** – пристрої, призначені для перетворення прикладеної сили або для зміни напрямку дії сили на зручніший для людини під час виконання механічної роботи.

До простих механізмів належать блок, важіль, коловорот, колесо, похила площина, різновидами якої є клин, гвинт.

**Машина** – це система, створена людиною, призначена для перетворення енергії з метою полегшення праці людини. Машина складається з трьох основних складових: робочого органа, двигуна і механізму, що їх пов'язує.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають простими механізмами?
2. З якою метою застосовують прості механізми?
3. Що називають машинами?
4. Назвіть основні складові частини машин.
5. Наведіть приклади машин, вказавши їх призначення.

## § 43. Важіль

- **Важіль**
- **Умова рівноваги важеля**
- **Момент сили**

**Важіль.** Досить часто в побуті або техніці перед людиною постає завдання підняти або ж перемістити з місця на місце важкі предмети (рис. 4.16). Значно легше виконати це можна, використовуючи дерев'яну палю або ж металевий стрижень. Для цього палю чи стрижень кладуть на брусок, один кінець підсовують під тіло, а на інший діють із силою  $F_2$  (рис. 4.17).



Як наслідок, хоча сила тяжіння  $F_1$ , що діє на тіло, буде значно більшою за силу  $F_2$ , прикладену людиною, тіло можна зрушити з місця. Подібні засоби називають важелями.

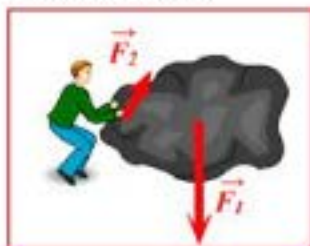


Рис. 4.16. Досить часто перед людиною постає завдання підняти або ж перемістити з місця на місце важкі предмети

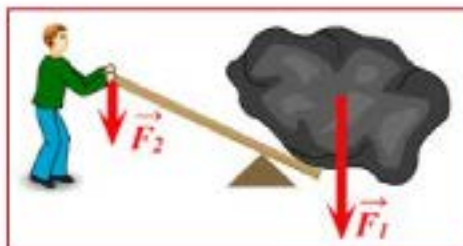


Рис. 4.17. Значно легше переміщувати вантажі, використовуючи дерев'яну палю або ж металевий стрижень

**Важіль** – тверде тіло, що може обертатися навколо певної осі.

Говорячи про важіль, ми будемо зустрічати такі поняття як вісь обертання важеля, точка прикладання сили, лінія дії сили та плече сили (рис. 4.18).

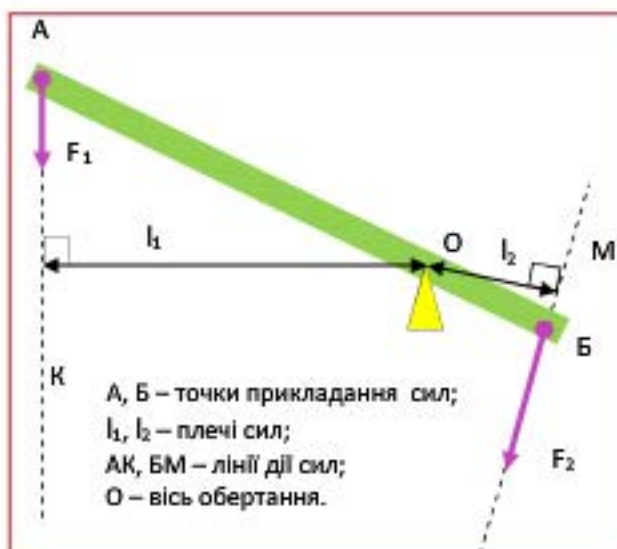


Рис. 4.18. Основні точки і лінії важеля

**Вісь обертання важеля** – лінія, яка проходить через точку опори важеля і є перпендикулярною до поздовжньої осі важеля.





**Точками прикладання сили** називають точки в яких на важіль діють інші тіла, наприклад, людина, вантаж тощо (точки А та Б, зображені на рис. 4.18).

**Лінія дії сили** – лінія, вздовж якої напрямлена сила, прикладена до важеля.

**Плече сили** ( $l_1$  та  $l_2$ , див. рис. 4.18.) – найкоротша відстань від осі обертання (О) до лінії дії сили (АК, БМ – лінії дії сил).

Щоби знайти плече сили, необхідно з точки опори провести перпендикуляр до лінії дії сили.

Людина стала використовувати важіль ще в давні часи, інтуїтивно розуміючи його принцип дії. Такі інструменти, як мотика або весло застосовувалися, щоби зменшити силу, яку необхідно було прикладати людині. У п'ятому тисячолітті до нашої ери в Месопотамії застосовувалися ваги, які також використовували принцип важеля. Близько 1500 року до н. е. в Єгипті та Індії з'являється «прабатько» сучасних кранів, пристрій для піднімання посудин з водою. Проте повністю зрозумів і зумів сформулювати принцип дії цього простого механізму **Архімед**. Йому належить крилатий вираз «Дайте мені точку опори, і я переверну Землю» (рис. 4.19). Поміркуйте наскільки це можливо.



Рис. 4.19. «Дайте мені точку опори, і я переверну Землю»

За будовою можна виділити важелі трьох типів. У важелі першого типу точки прикладання сил лежать з різних боків від точки опори (рис. 4.20). Одна з сил намагається повернути важіль за годинниковою стрілкою, інша – проти годинникової стрілки. Для того, щоб отримати виграш у силі, потрібно, щоби плече, до якого прикладена сила, було довшим за плече навантаження.

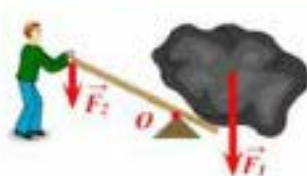


Рис. 4.20. У важелі першого типу точки прикладення сил лежать з різних боків від точки опори

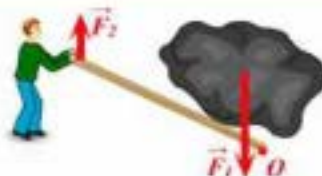


Рис. 4.21. У важелі другого типу обидві точки прикладення сил лежать по один бік від точки опори і тягар має менше плече



Рис. 4.22. У важелі третього типу обидві точки прикладення сил лежать по один бік від точки опори і тягар має більше плече

У важелі другого типу обидві точки прикладання сил лежать по один бік від точки опори і тягар має менше плече (рис. 4. 21). Щоби підняти тягар, необхідно направити силу вгору. Приклади таких важелів тачка та лом (рис. 4. 22).

У важелі третього типу обидві точки прикладання сил лежать по один бік від точки опори, але тягар має більше плече. При цьому потрібно прикладати силу, більшу за тягар. Приклад такого важеля ложка.

Зазвичай важіль використовують для отримання більшого зусилля на короткому плечі за допомогою меншого зусилля на довгому плечі (або для отримання більшого переміщення на довгому плечі за допомогою меншого переміщення на короткому плечі). Зробивши плече важеля досить довгим, теоретично, можна розвинути будь-яке зусилля.

У сучасному світі принцип дії важеля використовується повсюдно. Практично будь-який механізм, що перетворює механічний рух, у тому чи іншому вигляді використовує важелі. Підйомні крани, двигуни, плоскогубці, ножиці, а також тисячі інших механізмів та інструментів використовують важелі у своїй конструкції. Важелі зустрічаються в різних частинах тіла тварин і людини. Це, наприклад, руки, ноги, щелепи. Виявляється, у тілі людини понад 200 важелів. Багато важелів є також у тілі тварин, птахів, комах та рослин.

**Рівновага важеля.** Вам вже відомо, що тіло перебуває у стані спокою або ж прямолінійного руху з постійною швидкістю коли сума сил, прикладених до тіла в одному напрямку, дорівнює сумі прикладених сил, напрямлених протилежно. Виявляється, що це твердження буде справедливим, якщо сили, прикладені до тіла, діють уздовж однієї прямої. У випадку коли на тіло діє *пара сил*, лінії дії яких не збігаються, то навіть за умови рівності



прикладених сил тіло почне обертатися (рис. 4.23). У випадках коли всі прикладені до тіла сили компенсують дію одна одної, тобто взаємно урівноважують одна одну, про тіла говорять, що вони перебувають у стані рівноваги.

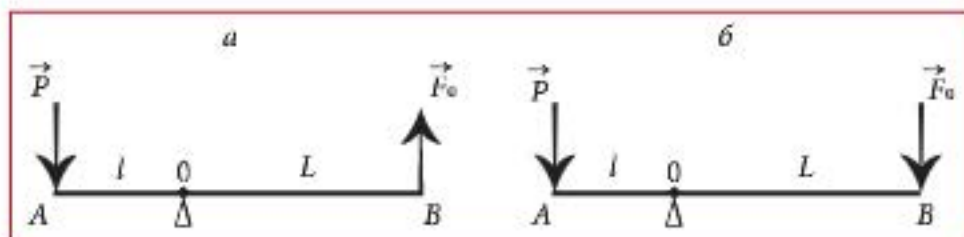


Рис. 4.23. У випадку коли на тіло діє пара сил, лінії дії яких не збігаються, то навіть за умови рівності прикладених сил тіло почне обертатися.

**Рівновага важеля** означає, що важіль перебуває у спокої.

Обертальна дія двох сил на важіль однакова, якщо під їх дією важіль зберігає рівновагу. Це можливо лише за умови, коли, діючи поодиноці, ці сили повертають важіль у протилежних напрямках. Причому для рівноваги важеля істотним є не лише значення сил, але й відстані до лінії дії цих сил від осі обертання (плече сили). Мала сила, прикладена подалі від осі, може зрівноважити дію великої сили, прикладеної ближче до осі. З рисунка 4.24 видно, що важіль перебуває у рівновазі, якщо діючі на нього сили та обернено пропорційні плечам цих сил, де  $OB = l_2$  – плече сили  $F_2$ ,  $OA = l_1$  – плече сили  $F_1$ . Отже, умову рівноваги важеля можна сформулювати так:

**Важіль перебуває у рівновазі, якщо діючі на нього сили обернено пропорційні плечам**  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ .

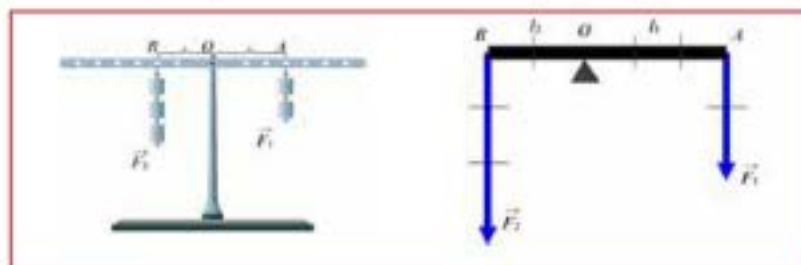


Рис. 4.24. Зрівноважений важіль

**Момент сили.** Виявлену нами умову рівноваги важеля можна записати у такий спосіб:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2$$





**Добуток сили на плече називають моментом сили відносно осі обертання. Момент сили – величина, яка характеризує обертальну дію сили, – позначається буквою  $M$ .**

$$M = F l$$

Скориставшись цією формулою з'ясуємо, що є одиницею вимірювання моменту:

$$[M] = \text{Н} \cdot \text{м}$$

У системі СІ **одиницею** моменту сили є **ньютон на метр**.

(Зауважимо, що хоча одиницею енергії та роботи є Дж – Н·м, проте для моменту сили джоулі не використовують).

З цієї ж формули випливає, що коли лінія дії сили проходить через вісь обертання, тобто  $l = 0$ , то момент цієї сили  $M = 0$ . Така сила не викликає обертання тіла.

Щоби відрізнити моменти сил, які викликають обертання в протилежних напрямках, домовилися вважати моменти сил, які обертають тіло проти годинникової стрілки, – додатними, а моменти сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, – від'ємними.

Поняття моменту сили дає змогу сформулювати **умову рівноваги важеля** таким чином:

**Важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил, що обертають його проти годинникової стрілки.**

У побуті ми часто маємо враховувати дію моментів сил. Один і той самий момент сили можна створити малою силою, плече якої велике, і великою силою з малим плечем. Діючи гайковим ключем, відкриваючи двері, натискаючи на педаль велосипеда, ми створюємо обертальний момент. Гадаємо, ви неодноразово переконувалися на досліді в тому, щоб для докладання найменших зусиль, слід прикладати силу якомога далі від осі обертання.

**Задача.** Довжина меншого плеча важеля 5 см, більшого – 30 см. На менше плече важеля діє сила 12 Н. Визначити силу, яку потрібно прикласти до більшого плеча, щоб зрівноважити важіль?

Дано:	$CI$
$l_1 = 5 \text{ см}$	0,05 м
$l_2 = 30 \text{ см}$	0,3 м
$F_1 = 12 \text{ Н}$	
$F_2 = ?$	

#### Розв'язання

За умовою задачі нам потрібно знайти силу, яку треба прикласти до більшого плеча,  $F_2$ . За умовою рівноваги важеля сили, прикладені до плечей, обернено пропорційні довжинам плечей:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ ;



$$F_2 = F_1 \frac{l_1}{l_2} ; \quad F_2 = \frac{12 \cdot 0,05}{0,3} = 2 \text{ (Н)} ; \quad [F_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}$$

**Відповідь:** щоб зрівноважити важіль, до більшого плеча потрібно прикласти силу в 2 Н.



## Головне у цьому параграфі

**Важіль**, який перебуває під дією кількох сил, може залишатися у спокої за умов, коли всі прикладені до важеля сили компенсують дію одна одної, тобто взаємно урівноважуються. У таких випадках про важіль кажуть, що він перебуває у стані рівноваги.

Важіль перебуває у рівновазі, якщо діючі на нього сили обернено пропорційні плечам сил

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Добуток сили на плече називається моментом сили відносно осі обертання. **Момент сили** – величина, яка характеризує обертальну дію сили, – позначається літерою  $M$ :

$$M = F \cdot l$$

**Одиницею** вимірювання моменту сили є Н · м.

Умову рівноваги важеля можна сформулювати з використанням поняття моменту сили:

*важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил, що обертають його проти годинникової стрілки.*



## Запитання для самоперевірки

1. Який стан тіла називається в механіці рівновагою?
2. За яких умов прикладена до тіла сила може повернути його навколо закріпленої осі обертання?
3. Що називають плечем сили?
4. Що називають моментом сили? У яких одиницях він вимірюється?
5. Які умови необхідні для рівноваги важеля?
6. Де розвивається більша сила – біля різців чи біля кутніх зубів при вживанні їжі? Чому?
7. Чому дверні ручки ніхто не кріпить посередині дверей або біля їх петель?
8. Як легше різати картон: помістивши його ближче до середини ножиць чи до країв (рис. 4.25)?



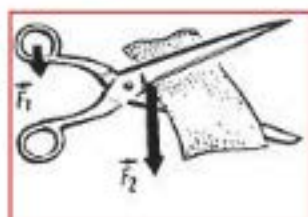


Рис. 4.25.  
До завдання 8

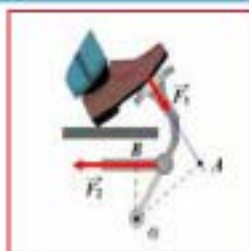


Рис. 4.26.  
До завдання 10

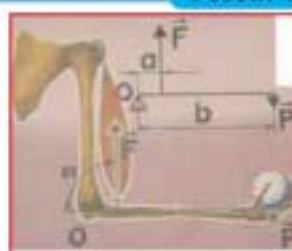
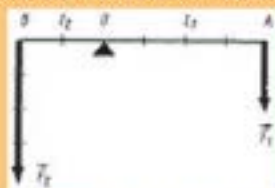


Рис. 4.27.  
До завдання 11

9. Проведіть простий дослід: спробуйте кілька разів розламати сірник на рівні частини. Чому маленькі шматочки важче розламувати, ніж цілий сірник?
10. Поясніть принцип дії педалі автомобіля, зображеної на рисунку 4.26.
11. Запропонуйте спосіб, за допомогою якого можна оцінити виграш у силі, що дає передпліччя людини (рис. 4.27).

## Вправа 25

- 1 (с). Довгий стержень легше утримувати в горизонтальному положенні за середину, ніж за край. Чому?
- 2 (с). Чому зігнутою в лікті рукою можна підняти більший вантаж, ніж витягнутою?
- 3 (с). 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, щоби важіль перебував у рівновазі.
- 4 (д). Визначити силу, що діє на довге плече важеля, якщо до його короткого плеча прикладена сила 3,2 Н. Довжина важеля 1,2 м



- 5 (д). До кінців урівноваженого важеля довжиною 1 м прикладені сили 2 і 18 Н. Визначити плечі важеля.
- 6 (в). До кінців стрижня масою 10 кг і завдовжки 40 см підвішені вантажі  $P_1 = 400$  Н і  $P_2 = 100$  Н. Де треба підперти стержень, щоби він перебував у рівновазі?
- 7 (в). Сім'я гойдається на гойдалці. Маса батька 70 кг, маса матері – 50 кг. Вони перебувають на протилежних кінцях 6-метрової дошки. У якому місці їм треба посадити дитину масою 25 кг, щоби дошка зрівноважилась?





## § 44. Блоки. Похила площина

- *Нерухомий блок*
- *Рухомий блок*
- *Похила площина*

**Нерухомий блок.** Знання умов рівноваги важеля необхідні для розуміння дії таких простих механізмів, як нерухомий і рухомий блоки.

**Нерухомий блок** являє собою колесо з жолобом по колу, яке обертається навколо своєї осі. Жолоб призначений для каната, ланцюга, ремня і т. п. Вісь блока міститься в обоймі, нерухомо прикріплений на балці або стіні, тому такий блок і дістав назву нерухомого (рис. 4.28).

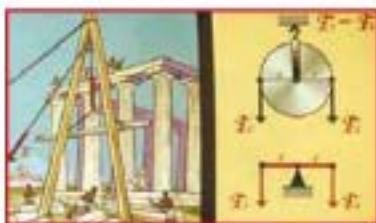


Рис. 4.28. Нерухомий блок



Рис. 4.29. Рухомий блок

З рисунка видно, що нерухомий блок можна розглядати як важіль з рівними плечима, кожне з яких дорівнює радіусу. Тому такий блок не дає вигоди в силі й може використовуватися для підйому невеликих вантажів або для зміни напрямку сили.

**Рухомий блок.** Рухомим називають блок, що піднімається й опускається разом з вантажем, оскільки вантаж кріпиться до обойми, в якій міститься вісь блоку.

Рухомий блок можна розглядати як важіль, що обертається навколо точки дотику мотузки й колеса. З рисунка 4.29. видно, що плече сили  $F_2$ , яка прикладена до осі блока вдвічі менше за плече сили  $F_1$ , з якою тягнуть за мотузку. Таким чином, *рухомий блок дає виграв у силі у два рази*. Тобто щоби підняти вантаж вагою  $P$ , необхідно прикласти силу, вдвоє меншу за його вагу:

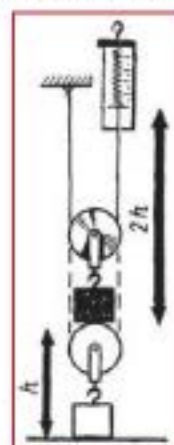
$$F = \frac{P}{2}.$$

Разом з тим, слід розуміти й той факт, що, використовуючи рухомий блок, ми програємо в переміщенні теж у два рази: адже для підняття вантажу на висоту  $h$  нам доведеться вибрати трос довжиною  $2h$  (рис. 4.30). Крім того,



рухомий блок змінює напрямок сили, яку ми прикладаємо до вільного кінця мотузки, на протилежний.

Рис. 4.30. Для підняття вантажу на висоту  $h$  нам доведеться вибрати трос довжиною  $2h$



Зазвичай на практиці використовують комбінацію рухомого і нерухомого блоків (рис. 4.31). Таку систему називають поліспаст. Поліспаст дає можливість одержати вигаш у силі й зробити напрямок прикладання сили зручним для людини (рис. 4.32).



Рис. 4.31. Зазвичай на практиці використовують комбінацію рухомого і нерухомого блоків

Рис. 4.32. Поліспаст дає можливість одержати вигаш у силі й зробити напрямок прикладання сили зручним для людини

Системи блоків дають можливість збільшити вигаш у силі. Наприклад, система, що складається з десяти блоків: 5 нерухомих і 5 рухомих, – дає вигаш у силі в десять разів.

**Похила площина.** Похилою площиною називають плоску поверхню, розташовану під деяким кутом до горизонтальної. Похила площина використовується для переміщення важких предметів на більш високий рівень, не піднімаючи їх безпосередньо. Такими пристроями є пандуси, ескалатори, звичайні сходи, конвеєри тощо. Зазвичай щоб, підняти вантаж, значно легше скористатися більш пологим схилом, аніж крутим. Цю властивість похилої площини використовують під час будівництва доріг у горах, тому



їх роблять серпантиноподібними, оскільки чим менш крутою є дорога, тим легше підніматися по ній.

*Під час використання похилої площини виграють у силі в стільки разів, у скільки разів довжина похилої площини більше її висоти* (рис 4.33).



$$\text{Виграш у силі} = \frac{l}{h}$$

$$\text{Виграш у силі} = \frac{F_2}{F_1}$$

Завдяки тому, що **похила площина** дозволяє одержати виграш у силі, причому досить значний, якщо її довжина набагато більше висоти, похилу площину використовували ще в давнину для підняття вантажів, наприклад, при будівництві єгипетських пірамід. Класичні обчислення дії похилої площини та інших простих механізмів належать видатному античному вченому **Архімеду із Сіракуз**.

Різновидами похилої площини є клин та гвинт. Клин складається з двох похилих площин, які дотикаються своїми основами. Його застосовують для одержання виграшу в силі й можливості протидіяти більшій силі, докладаючи меншу силу. Прикладом клина є сокира, яку використовують для того, щоб рубати дрова. Гвинт являє собою похилу площину, що намотана на вісь.



### Головне у цьому параграфі

**Нерухомий блок** являє собою колесо з жолобом по колу, яке обертається навколо своєї осі.

Нерухомий блок не дає виграшу в силі й може використовуватися для підйому невеликих вантажів або для зміни напрямку сили.

Рухомим називають блок, що піднімається й опускається разом з вантажем, оскільки вантаж кріпиться до обоїми, в якій міститься вісь блока.

**Рухомий блок** дає виграш у силі у два рази.

**Поліспаст** – система, що являє собою комбінацію рухомого і нерухомого блоків. Поліспаст дає можливість одержати виграш у силі й зробити напрямок прикладання сили зручним для людини.

Під час використання похилої площини виграють у силі в стільки разів, у скільки разів довжина похилої площини більше її висоти.





1. Що називають блоком?
2. Які види блоків ви знаєте? Чим вони відрізняються?
3. З якою метою використовують нерухомий блок?
4. Поясніть, чому рухомий блок дає вигоду в силі в два рази, а нерухомий не дає вигоди в силі?
5. З якою метою використовують похилу площину?
6. Який вигоду в силі дає похила площина?
7. Під час вимірювання сил, що діють на мотузку, яка перекинута через нерухомий блок, виявилось, що сила, яка утримує вантаж, дещо менша за силу тяжіння, яка діє на вантаж, а під час рівномірного піднімання – більша за неї. Чому так відбувається?

## Вправа 26

1 (с). Через нерухомий блок перекинута мотузка. Один її кінець прикріплено до пояса робітника, а другий він тягне до низу з деякою силою. Визначити цю силу, якщо вага робітника 700 Н? Тертям у блоці та вагою мотузки знехтувати.

2 (с). Так будівельних підйомних кранів, до якого кріплять вантажі, закріплюють не на кінці троса, а на обіймах рухомого блока. Чому?

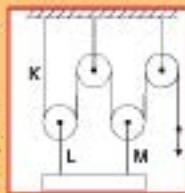
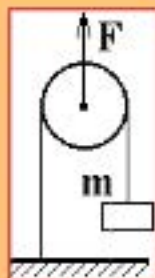
3 (с). Визначити силу, з якою необхідно тягнути вільний кінець мотузки, щоб підняти вантаж масою 100 кг за допомогою рухомого блока.

4 (д). За допомогою рухомого блока вантаж було піднято на висоту 1,5 м. Визначити висоту, на яку було піднято вільний кінець троса. Вважати  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

5 (д). Вантаж масою 10 кг піднімають за допомогою рухомого блока. Визначити силу, яку необхідно прикласти до вільного кінця троса, якщо маса блока становить 300 г. Вважати  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

6 (в). Визначити силу, яку необхідно прикласти до невагомого блока, щоб рівномірно підняти тіло масою 2 кг. Вважати  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

7 (в). Визначити максимальну масу балки, яку можна піднімати за допомогою зображеної системи, якщо мотузка К витримує 50 Н, а мотузки L і M – по 120 Н? Блоки і мотузки невагомі,  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .





## § 45. «Золоте правило» механіки. Коефіцієнт корисної дії механізмів

- *«Золоте правило» механіки*
- *Коефіцієнт корисної дії механізмів*

**«Золоте правило» механіки.** Прості механізми допомагають людині виконувати роботу, тому цілком логічно постає запитання про те, що оскільки прості механізми застосовують для одержання виграшу у 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 же час точка прикладання меншої сили  $F_2$  долає більший шлях ніж точка прикладання більшої сили  $F_1$ .



Рис. 4.34. Сили, прикладені до плечей важеля виконують роботу

Розглянемо рис. 4.34. Нехай сили, прикладені до плечей важеля, становлять  $F_1=200$  Н,  $F_2=40$  Н, тоді відстані, які проходилимуть точки прикладання сил, становитимуть відповідно  $s_1=40$  см,  $s_2=2$  м.

Робота, виконана при цьому кожною силою, становитиме:

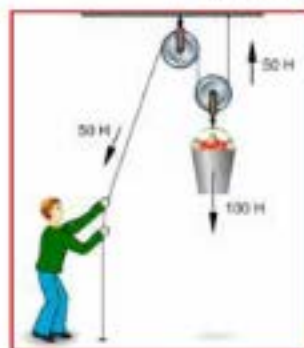
$$A_1=F_1 \cdot s_1; \quad A_1=200 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = 80 \text{ Дж}$$

$$A_2=F_2 \cdot s_2; \quad A_2=40 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = 80 \text{ Дж}.$$

З цього можна зробити висновок про те, що важіль не дає виграшу в роботі. Отже, важіль не дає виграшу в силі поставити в роботі, оскільки у скільки разів ми одержимо виграш у силі на довгому плечі, у стільки ж разів програємо у відстані.



Рис. 4.35. Сили, прикладені до обоїми рухомого блоку та вільного кінця мотузки, виконують роботу



Подібні результати одержимо внаслідок порівняння роботи, яку виконують сили, прикладені до обоїми рухомого блоку та вільного кінця мотузки (рис. 4.35). Для того, щоби підняти вантаж на висоту  $h$ , доведеться вільний кінець мотузки, до якого ми докладаємо силу, перемістити на відстань  $2h$ , хоча підніматимемо вантаж, докладаючи силу в два рази меншу. Отже робота, яку нам доведеться виконати для того, щоби підняти вантаж масою  $m$  на висоту  $h$  становитиме  $A = mgh$ . Це ж саме стосується і системи блоків (поліспасти). Якщо система дає виграти у силі в десять разів, то відстань, на яку нам доведеться перемістити вільний кінець мотузки, буде в десять разів більшою.

Подібні результати одержимо внаслідок обчислень роботи, яку нам доведеться виконати, переміщуючи тіло вздовж похилої площини, та роботи, яку необхідно виконати, щоби підняти вантаж на ту ж саму висоту вертикально (рис. 4.36).



Рис. 4.36. Порівняння роботи сил під час переміщення тіла вздовж похилої площини та його вертикального піднімання на ту ж висоту

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок про те, що жоден з механізмів не дає виграву в роботі. До цього висновку дійшли ще в давнину і назвали його **«Золотим правилом механіки»**:

**У скільки разів виграсмо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані.**

**Коефіцієнт корисної дії механізмів.** До цього часу ми розглядали ідеальні умови використання простих механізмів. За цих умов ми вважали, що важіль та блок є невагомими, а сила тертя між частинами механізмів чи





тілом і похилою площиною дорівнює нулю. Даваймо поміркуємо над тим, що відбувається в реальних умовах використання простих механізмів. Ви являється, що під час використання простих механізмів частина виконуваної роботи витрачається на подолання сил тертя, піднімання важеля чи блока або хоча би того ж троса. Отже, частина виконуваної нами роботи витрачається. Тому доцільно вміти оцінювати ефективність роботи того чи іншого механізму, приладу тощо. З цією метою використовують фізичну величину, яку називають **коефіцієнт корисної дії**.

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** – фізична величина, що показує ефективність роботи механізму. ККД чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи:

$$\eta = \frac{A_k}{A_n}$$

**Коефіцієнт корисної дії** позначають малою грецькою літерою  $\eta$  («ета»). Це безрозмірна фізична величина, але на практиці ККД часто виражають у %.

Наприклад, ККД у 80% означає, що корисна робота складає 0,8 від витраченої.

Корисною називають роботу, для виконання якої застосовують пристрій, наприклад робота для підйому вантажів. Виконана, або повна, робота – це та робота, яку необхідно виконати під час користування простим механізмом. Витрачена робота завжди більша за корисну, тому що частина роботи (енергії) витрачається на подолання сил тертя і на переміщення окремих частин механізму (важеля, блока тощо).

Наприклад, якщо необхідно підняти вантаж, то корисною буде робота, яка виконується під час підіймання тіла вгору по вертикалі. Вона дорівнює добутку сили тяжіння на висоту похилої площини  $A_k = F_{\text{тяж}}h$ , де  $F_{\text{тяж}} = mg$ , тобто  $A_k = mgh$ ,  $m$  – маса тіла,  $g$  – сталие число ( $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ ),  $h$  – висота, на яку піднімають вантаж. На ту саму висоту можна підняти тіло, використовуючи простий механізм. Для того, щоби перемістити тіло, необхідно докласти силу  $F$ , переміщуючи частину механізму (вільний кінець мотузки, довге плече важеля) вздовж відстані  $l$ , необхідно виконати роботу  $A_n = Fl$ .

Який би ми не взяли механізм чи машину, корисна робота буде завжди меншою за виконану, 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 завжди намагаються збільшити ККД. Для цього зменшують вагу складових елементів та силу тертя між частинами механічних пристроїв. Наразі існують машини та механізми, ККД яких досягає значення 98–99%. Проте побудувати машину з ККД у 100% неможливо.

Ви можете задати 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.

**Задача.** На короткому плечі важеля прикріплено вантаж масою 100 кг. Для того, щоби його підняти, до довгого плеча докладають силу 250 Н. Вантаж підняли на висоту  $h_1 = 0,08$  м, при цьому точка докладання сили опустилася на висоту  $h_2 = 0,4$  м. Визначити ККД важеля.

**Дано:**

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \text{ Н/кг}$$

$$F_2 = 250 \text{ Н}$$

$$h_1 = 0,08 \text{ м}$$

$$h_2 = 0,4 \text{ м}$$

$$\eta = ?$$

**Розв'язування**

$$A_k = F_{\text{тяж}} h_1, \text{ де } F_{\text{тяж}} = mg, \text{ тобто } A_k = mgh_1$$

$$A_{\text{в}} = F_2 \cdot h_2; \quad \eta = \frac{mgh_1}{F_2 \cdot h_2}$$

$$[\eta] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}} = 1; \quad \eta = \frac{100 \cdot 9,8 \cdot 0,08}{250 \cdot 0,4} \approx 0,8 = 80\%$$

**Відповідь:**  $\eta = 80\%$ .



### Головне у цьому параграфі

Жоден з механізмів не дає виграшу в роботі.

**Золотим правилом механіки** є: «У скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані».

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** – це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму. ККД чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи:

$$\eta = \frac{A_k}{A_{\text{в}}}$$

$A_k$  – корисна робота, тобто робота для виконання якої застосовують пристрій.

$A_{\text{в}}$  – виконана, або повна, робота, тобто робота, яку необхідно виконати під час використання простого механізму.





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).



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають корисною роботою?
2. Що називають повною роботою?
3. Чи може корисна робота більша за повну, чому?
4. Що називають ККД механізму?
5. Як обчислити ККД механізму?
6. Які значення може приймати ККД механізму?
7. Яким чином можна збільшити ККД механізму?
8. У чому полягає золоте правило механіки?

### Вправа 27

1 (с). Вантаж вагою 1200 Н рівномірно піднімають на висоту 0,12 м. При цьому до довгого плеча прикладають силу 360 Н. Визначити ККД важеля, якщо під час піднімання вантажу точка прикладання сили опустилася на 0,5 м.

2 (с). Вантаж вагою 800 Н піднімають за допомогою нерухомого блока. Визначити ККД важеля, якщо для піднімання вантажу до вільного кінця троса необхідно прикласти силу 1000 Н.

3 (с). Вантаж вагою 1200 Н піднімають за допомогою рухомого блока. Для цього до вільного кінця каната прикладають силу 800 Н. Визначити ККД рухомого блока.

4 (д). Тіло піднімають по похилій площині, прикладаючи в напрямі його руху силу 30 Н. Визначити масу тіла, якщо довжина похилої площини 1 м. Висота похилої площини становить 25 см, а ККД похилої площини 80%. Вважати  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

5 (д). Визначити силу, яку необхідно прикласти до тіла масою 120 кг, щоби підняти його на висоту 25 см, використовуючи похилу площину довжиною 2 м. ККД похилої площини становить 60%.

6 (в). Вантаж піднімають за допомогою рухомого блока масою 20 кг. Визначити масу вантажу, якщо ККД блока становить 80%. Тертям у блоці знехтувати.

7 (в). Підіймальний кран рівномірно піднімає вантаж масою 60 кг на висоту 50 м за 2 хв. Визначте потужність підіймального крана, якщо його ККД становить 80%.

8 (в). Двигун насоса має потужність 25 кВт і піднімає  $100 \text{ м}^3$  нафти на висоту 6 м за 8 хвилин. Визначити ККД нафтового насоса. Густина нафти  $800 \text{ кг/м}^3$ .





## Найголовніше у розділі 4

▲ **Механічна робота** є кількісною мірою дії сили на тіло, що переміщується.

▲ **Робота сили** дорівнює добутку модулів сили та переміщення:  $A = Fz$ .

▲ За **одиноцю** роботи беруть джоуль: Дж = Н·м.

▲ **Робота сили земного тяжіння** та сили пружності по замкненій траєкторії дорівнює нулю.

▲ **Потужність** характеризує швидкість виконання роботи:  $P = \frac{A}{t}$ .

▲ **Одиницею** потужності є ват (Вт). Механізм має потужність 1 Вт, якщо він виконує роботу в 1 Дж за 1 с:  $1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$ .

▲ **Механічною енергією** називається фізична величина, що характеризує стан тіла або системи тіл, а її зміна під час переходу системи з одного стану в інший дорівнює виконаній роботі.

▲ Величину, що характеризує енергію взаємодії тіла або системи тіл, називають **потенціальною енергією**.

▲ **Потенціальна енергія** взаємодії тіла та Землі:  $W_{\text{п}} = mgh$ .

▲ Пружно деформоване тіло має **потенціальну енергію**:  $W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ .

▲ Рухоме тіло має **кінетичну енергію**. **Кінетична енергія** тіла – це фізична величина, що дорівнює половині добутку маси тіла на квадрат його швидкості:  $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ .

▲ **Енергію** вимірюють у тих самих одиницях, що й роботу, тобто у джоулях.

▲ **Повною механічною енергією системи** називають суму потенціальної та кінетичної енергії:  $W = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}$ .

▲ Якщо в замкнутій системі діють тільки сили тяжіння й пружності, то повна механічна енергія системи залишається **сталою**. Можливе лише взаємне перетворення потенціальної та кінетичної енергії системи.

▲ **Робота сили тертя** є від'ємною, оскільки сила тертя направлена протилежно переміщенню тіла.

▲ За наявності сил тертя механічна енергія системи зменшуватиметься. Це означає, що **енергія поступово переходить із механічної форми в інші форми**.

▲ **Прості механізми** – пристрої, призначені для перетворення прикладеної сили або для зміни напрямку дії сили на зручніший для людини під час виконання механічної роботи.



До простих механізмів належать блок, важіль, коловорот, колесо, похила площина, різновидами якої є клин, гвинт.

**Машина** – це система, створена людиною, призначена для перетворення енергії з метою полегшення праці людини. Машина складається з трьох основних складових: робочого органа, двигуна і механізму, що їх пов'язує.

**Важіль**, який перебуває під дією кількох сил, може залишатися у спокої за умов, коли всі прикладені до важеля сили компенсують дію одна одної, тобто взаємно урівноважуються. У таких випадках про важіль кажуть, що він перебуває у стані рівноваги.

Важіль перебуває у **рівновазі**, якщо діючі на нього сили обернено пропорційні плечам цих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Добуток сили на плече називається моментом сили відносно осі обертання. **Момент сили** – величина, яка характеризує обертальну дію сили, – позначається буквою  $M$ :  $M = Fl$ .

**Одиницею** вимірювання моменту сили є Н · м.

**Умову рівноваги важеля** можна сформулювати з використанням поняття моменту сили: важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил, що обертають його проти годинникової стрілки.

**Нерухомий блок** являє собою колесо з жолобом по колу, яке обертається навколо своєї осі.

Нерухомий блок не дає виграшу в силі й може використовуватися для підйому невеликих вантажів або для зміни напрямку сили.

**Рухомим** називають блок, що піднімається й опускається разом з вантажем, оскільки вантаж кріпиться до обійми, в якій міститься вісь блоку. Рухомий блок дає виграш у силі у два рази.

Під час використання **похилої площини** виграють у силі в стільки разів, у скільки разів довжина похилої площини більша її висоти.

Жоден з механізмів не дає виграшу в роботі.

**Золоте правило механіки**: «У скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані».

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** – це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму. ККД чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи  $\eta = \frac{A_k}{A_s}$ .



▲  **$A_k$  – корисна робота**, тобто робота, для виконання якої застосовують пристрій.

▲  **$A_v$  – виконана, або повна робота**, тобто робота, яку необхідно виконати під час використання простого механізму.

▲ **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).

### Завдання для самоперевірки з розділу «Механічна робота та енергія»

#### Початковий рівень.

1. В якому з випадків виконується механічна робота?

- А) сталеву кульку котиться по інерції по горизонтальному столу.
- Б) камінь лежить на землі.
- В) кран піднімає вантаж.
- Г) вантаж висить на нитці.

2. Фізичну величину, що визначає здатність тіл виконувати роботу називають ...

- А) масою                      Б) енергією                      В) силою                      Г) вагою

3. « Вічний двигун » – це пристрій...

- А) який, виконуючи роботу, не витрачає енергії.
- Б) який, виконуючи роботу, витрачає енергію.
- В) який, не виконуючи роботу, витрачає енергію.
- Г) який, не виконуючи роботу, не витрачає енергію.

4. Енергію, яка визначається розташуванням взаємодіючих тіл або частин деформованого тіла, називають ...

- А) потенціальною    Б) кінетичною    В) внутрішньою    Г) механічною

5. Укажіть правильне продовження речення: «Коефіцієнт корисної дії  $\eta$  визначає...»

- А) швидкість виконання роботи    Б) ефективність виконання роботи
- В) здатність тіла виконувати роботу    Г) зміну роботи

#### Середній рівень.

6. За допомогою рухомого блока вантаж підняли на висоту 2 м. На яку довжину при цьому опустився вільний кінець мотузки?

- А) 2 м                      Б) 3 м                      В) 4 м                      Г) 1 м

7. Встановіть відповідність між фізичними величинами та формулами за якими їх можна обчислити:





- А)  $W_k$  1)  $F \cdot s$   
 Б)  $W_{tr}$  2)  $mgh$   
 В)  $P$  3)  $F \cdot v$   
 Г)  $A$  4)  $\frac{mv^2}{2}$   
 5)  $\frac{A_k}{A_n}$

А	
Б	
В	
Г	

8. **Визначити потужність електродвигуна**, якщо за 10 хвилин він виконує роботу 240000 Дж.

- А) 450 Вт      Б) 400 Вт      В) 500 Вт      Г) 24000 Вт

9. **Визначити роботу**, яку виконує людина під час переміщення вантажу на висоту 5м, прикладаючи зусилля 300 Н.

- А) 60 Дж      Б) 305 Дж      В) 1500 Дж      Г) 150 Дж

10. **Встановіть**, в якій точці польоту футбольного м'яча його потенціальна енергія максимальна (рис. 4.37).

- А) 0      Б) 1      В) 2      Г) 3

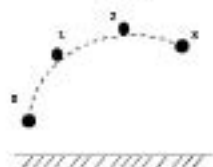


Рис. 4.37. До задачі 10

### Достатній рівень.

11. Трактор під час оранки долає силу опору 8 кН, розвиваючи потужність 40 кВт. Визначити швидкість, з якою рухається трактор?

12. Визначити потужність, яку розвиває штангіст під час піднімання штанги масою 125 кг на висоту 70 см за 0,3 с?

13. Обчисліть механічну роботу, яку виконує насос під час піднімання 40 м<sup>3</sup> води на висоту 50 м.

14. Визначити кінетичну енергію тіла масою 2 кг, яке рухається зі швидкістю 4 м/с?

15. Визначити силу, яку необхідно прикласти до важеля в точці В, щоб зрівноважити важіль?





16. Під час рівномірного переміщення вантажу масою 15 кг по похилій площині, прикладають силу 40 Н. Обчислити ККД похилої площини, якщо її довжина 1,8 м, а висота 30 см.

17. Для піднімання вантажу по похилій площині на висоту 4,5 м необхідно виконати роботу 15 кДж. Визначити вагу вантажу, якщо ККД похилої площини 60%.

### Високий рівень.

18. 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?



19. Визначити час, за який насос потужністю 50 кВт може відкачати із шахти глибиною 200 м воду об'ємом 150 м<sup>3</sup>?

20. З дна озера підіймають кам'яну брилу розмірами 40 см × 50 см × 75 см. Яку мінімальну роботу потрібно при цьому виконати, якщо глибина озера дорівнює 12 м? Вважайте, що брилу піднімають повільно і опором води можна знехтувати. Густина каменя прийняти рівною 2500 кг/м<sup>3</sup>.

21. Камінь кинули вертикально вгору. В точці кидання камінь мав кінетичну енергію 30 Дж. Визначити повну механічну енергію каменя в верхній точці траєкторії польоту. Обчислити максимальну висоту, на яку підніметься тіло, якщо його маса 1 кг. Визначити кінетичну і потенціальну енергію цього тіла на висоті 2 м над поверхнею нульового рівня.



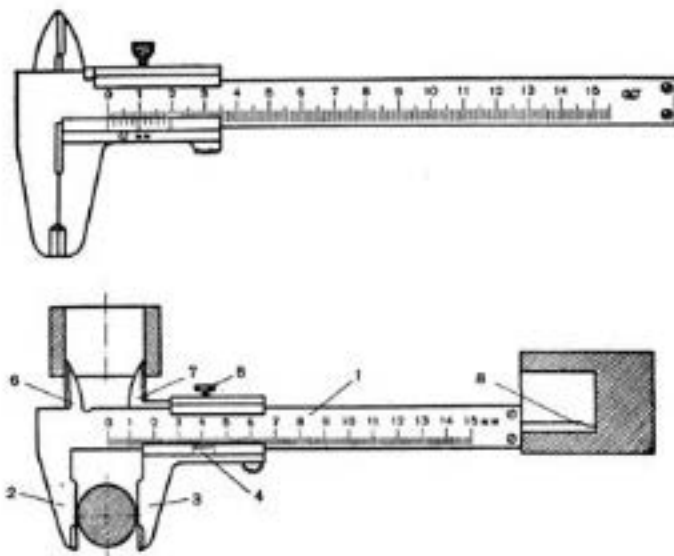


## 1. Лінійка



*Масштабні лінійки використовують для вимірювання лінійних розмірів невеликих тіл.* Лінійки виготовляють з пружної твердої сталі. Поверхня їх добре відшліфована. На одній стороні лінійки вигравірувані міліметрові поділки. Лінійки виготовляють завдовжки 150, 200, 250, 300, 500 мм і більше. Іноді перші 50 мм лінійки поділені на половини міліметрів, отже, точність вимірювання становить 0,25 мм.

## 2. Штангенциркуль



*Штангенциркуль застосовують для вимірювання довжини з точністю до 0,1 мм.* Ним можна вимірювати як зовнішні, так і внутрішні розміри деталей (товщину стінок, діаметр і ширину отворів у деталі, а також глибину).

Штангенциркулі бувають різних розмірів. Для фізичних кабінетів більш підходить штангенциркуль на 150 мм.

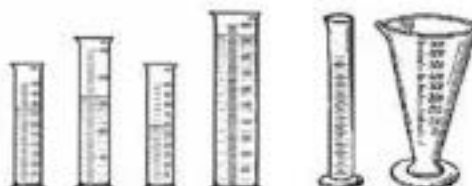
Штангенциркуль складається з сталюї лінійки-штанги 1 з міліметровими поділками з двома парами губок 2, 6, які утворюють одне ціле з лінійкою, і 3, 7, які виготовлені разом з рамкою, яку можна рухати по лінійці.





На нижній похилій грані рамки нанесені поділки ноніуса 4 для вимірювання десятих частин міліметра. Гвинтом 5 рамку закріплюють у певному положенні. На зворотній стороні лінійки вибрано паз, в якому знаходиться вузька лінійка глибиноміра 8, з'єднана з рамкою. Всі розміри відлічують по поділках лінійки з ноніусом.

### 3. Мензурки

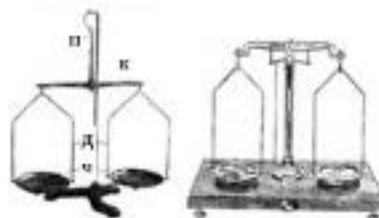


*Мензурки використовують для вимірювання об'ємів рідин і твердих тіл.* Об'єм твердих тіл малого розміру вимірюють безпосередньо в мензурці, а великих – за допомогою відливної склянки.

Мензурки бувають різної місткості і з різною ціною поділок. Конічні мензурки стійкіші, але мають нерівномірні поділки.

У фізичному кабінеті мають бути мензурки різної місткості. Для лабораторних робіт потрібні циліндричні мензурки на 100 чи 200 см<sup>3</sup> з ціною поділок в 1 чи 2 см<sup>3</sup>.

### 4. Терези для лабораторних робіт



*Терези лабораторні призначаються для зважування різних тіл* вагою до 100 г з точністю до 0,01 г і використовуються в ряді лабораторних робіт.

Терези складаються з таких основних частин: коромисла К зі стрілкою, підвіска П, двох дужок Д з хрестовинами і двох плоских чашечок Ч. Всі ці частини виготовлені з металу.

Підвіски спираються на сталеві призми, закріплені на коромислі. На хрестовинах дужок і чашках є позначки Л і П, щоб підвішувати їх: Л на ліве і П на праве плече коромисла інакше порушується рівновага терезів.

При зважуванні терези підвішують на штатив, щоб чашки були невисоко над поверхнею стола.



## 5. Важки для лабораторних робіт

Для лабораторних робіт використовують **набір різноважків** від 10 мг до 200 г чи від 10 мг до 100 г. Такі різноважки розміщуються в спеціальній коробці разом з пінцетом. В набір входять латунні (нікельовані) важки: 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2 і 1 г, а також набір міліграмових важків 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20 і 10 мг.



## 6. Набір нормалізованих тягарців



**Нормалізовані тягарці** бувають різної конструкції. Найбільш поширені циліндричні металеві (чи пластмасові) тягарці з двома гачками масою по 100 г кожний комплектами по 10 чи 6 штук, укладеними в спеціальні колодочки чи коробки.



Є ще інша конструкція тягарців у вигляді невисоких металевих дисків з вузьким розрізом від бічної поверхні по радіусу до центра. До одного тягарця прикріплено довгий стержень з гачком, на який надівають тягарці з розрізом, кожний масою 50 г. Бічна поверхня одних тягарців блискуча, а інших – чорна, щоб їх можна було розрізняти на віддалі. В комплект входять два набори з гачками, і зберігаються вони в спеціальній колодочці.

## 7. Фізичний штатив

**Прилад використовують для складання різних установок і прикріплення приладів** при демонструванні дослідів з фізики.

**Комплект штатива** складається з чавунної підставки 1, залізного стояка 2 завдовжки 500 мм, стояка 3 з гачком завдовжки 250 мм, підйимального столика 4, лапки-тримача 5, кільця 6, двох перпендикулярних муфт 7 і паралельної муфти 8.

За допомогою приладу забезпечується стійке кріплення деталей і приладів у вертикальному і горизонтальному положеннях.





## 8. Важіль для лабораторних робіт



*Важіль застосовують для демонстрування, а також для проведення лабораторних робіт при вивченні рівноваги сил і правила моментів.*

Прилад являє собою тонку дерев'яну лінійку завдовжки 50 см. По середині лінійки є отвір для надівання її на вісь, а по краях закріплені стержні з гвинтовою різью і тягарцями для зрівноваження важеля. Вдovж лінійки, з обох країв, вибрані пази, на яких закріплюють дротяні петельки для підвищення тягарців.

## 9. Динамометр для лабораторних робіт (конструкції Бакушинського).



Прилад складається з *спіральної пружини з покажчиком і гачком на довгій дротині.*

Верхній край пружини закріплений на дерев'яній дощечці з шкалою на 4 Н. На нижній частині дощечки укріплено дротяну скобу, через яку проходить дротина з гачком на кінці. Ця скоба перешкоджає розтягванню пружини при надмірних навантаженнях.

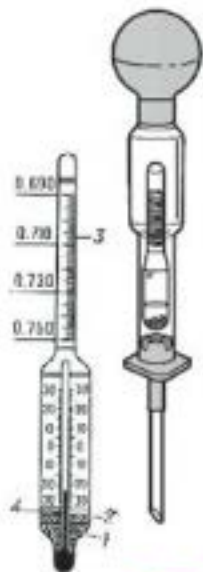
## 10. Ареометр

*Прилад застосовують для вимірювання густини рідин.* Дія приладу ґрунтується на законі Архімеда.

*Ареометр* являє собою запаяну скляну трубку, звужену у верхній частині, де міститься шкала. В нижній частині трубки знаходиться дріб, щоб надати приладу при плаванні вертикального положення.

Ареометри бувають двох типів: для вимірювання густини від 0,65 до 1 г/см<sup>3</sup> і для вимірювання густини – від 1 до 2 г/см<sup>3</sup>.

Виготовляють також ареометри спеціального призначення: лактометри, спиртометри, сахариметри тощо.







**Лабораторна робота № 1**  
**Ознайомлення з вимірювальними приладами.**  
**Визначення ціни поділки шкали приладу**

**Мета роботи.** Ознайомитися з найпростішими вимірювальними приладами. Навчитись визначати ціну поділки шкали приладу.

**Прилади і матеріали:** лінійка; мірний циліндр (мензурка); термометр.

**Теоретичні відомості**

Фізичні величини вимірюють за допомогою вимірювальних мір і приладів. Для того, щоб отримати правильний результат вимірювань, слід додержуватись *методики виконання вимірювання* (сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювання з потрібною точністю).

Починають роботу з вимірювальним приладом з ознайомлення з його шкалою, за якою визначають:

- **одиницю фізичної величини, в якій проградуєвано прилад;**
- **ціну поділки шкали;**
- **діапазон вимірювань;**
- **абсолютну похибку засобу вимірювань.**

В усіх засобах вимірювальної техніки, як правило, застосовують міжнародні позначення одиниць, при записі ж результатів вимірювання слід вживати українське позначення одиниці фізичної величини.

**Ціна поділки шкали аналогового вимірювального приладу** – різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

**Діапазон показів (засобу вимірювань)** – інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим та кінцевим її значеннями.

**Примітка.** Початковим значенням вимірюваної величини називають найменше в діапазоні показів її значення, а кінцевим – найбільше її значення.

**Хід роботи**

1. Розгляньте найпростіші вимірювальні прилади – лінійку, мензурку (мірний циліндр), термометр. Визначте, для вимірювання яких фізичних величин вони використовуються. За відповідними позначеннями на шкалах приладів (для мірного циліндра й термометра, як правило, у верхній частині



шкали, а для лінійки, мірної стрічки – у нижній) визначте, в яких одиницях виконуються вимірювання фізичних величин цими приладами. Основні характеристики вимірювальних приладів запишіть до таблиці (табл. 1).

2. Зверніть увагу на шкали вимірювальних приладів. Ви побачите, що числа стоять лише біля деяких позначок. Біля більшості поділок чисел немає. За початковою (нижньою) та кінцевою (верхньою) позначкою з цифровим значенням шкали визначте нижню та верхню межі вимірювання.

3. Порахуйте кількість поділок між верхньою ( $BM$ ) та нижньою межею ( $NM$ ). Для визначення ціни поділки шкали приладу ( $C$ ) знайдіть різницю між числовими значеннями верхньої ( $BM$ ) та нижньої межі ( $NM$ ) вимірювань і розділіть її на кількість поділок ( $N$ ) між верхньою та нижньою межами:

$$C = \frac{BM - NM}{N}$$

4. Порахуйте кількість поділок між двома найближчими (сусідніми) числовими позначками на шкалі. Знайдіть різницю між більшим і меншим значенням вибраних позначок на шкалі та розділіть її на кількість поділок між ними. Порівняйте значення ціни поділки приладу, отримані обома способами.

5. Запишіть значення абсолютної похибки засобу вимірювання, визначивши її як половину ціни найменшої поділки шкали вимірювального приладу.

Таблиця

Основні характеристики		Вимірювальний прилад		
		Лінійка	Мензурка	Термометр
Вимірювана фізична величина				
Одиниця величини				
Діапазон показів				
Шкала	Різниця між значеннями сусідніх цифрових позначок			
	Кількість поділок між ними			
	Ціна поділки шкали			
	Абсолютна похибка засобу вимірювань			



## Контрольні запитання

1. Що спільного є в усіх вимірювальних приладах?
2. Чи можна отримати точне значення фізичної величини?
3. Від чого залежить точність вимірювань?

## Лабораторна робота № 2

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

**Мета роботи.** Навчитись вимірювати об'єми твердих тіл, рідин, сипких матеріалів.

**Прилади і матеріали:** лінійка; мірний циліндр (мензурка); брусок; склянка з водою; сипке тіло.

#### Теоретичні відомості

**Об'єм** – фізична величина, що характеризує властивість тіл займати ту чи іншу частину простору. Одиницею об'єму в *СИ* є кубічний метр ( $\text{м}^3$ ).

На практиці часто використовується одиниця об'єму – літр (л). **Літр** є спеціальною назвою кубічного дециметра  $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ .

Для вираження отриманого значення у стандартному вигляді в основних одиницях *СИ* слід враховувати, що множник, що відповідає приставці деци, слід піднести до куба.

Наприклад,

$$50 \text{ л} = 50 \text{ дм}^3 = 5 \cdot 10^1 \cdot (10^{-1})^3 \text{ м}^3 = 5 \cdot 10^1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

Об'єм вимірюють за допомогою мірного циліндра.

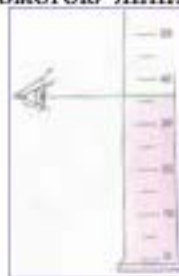
Якщо тіло має правильну геометричну форму, то, вимірявши лінійні розміри, можна визначити його об'єм за допомогою відповідних математичних формул.

#### Хід роботи

1. Розгляньте лінійку та мірний циліндр. Використовуючи вміння, набуті під час першої лабораторної роботи, визначте ціну поділки шкали вимірювальних приладів та абсолютну похибку вимірювання об'єму  $\Delta V$ .

2. Ознайомтеся з правилами виконання вимірювань за допомогою лінійки та мензурки (мірного циліндра).

А) Під час вимірювання лінійних розмірів прикладіть лінійку до бруска. Око має дивитися так, щоб лінія зору була перпендикулярна до площини лінійки в точці зчитування. Сумістіть з краєм бруска нульову поділку шкали лінійки. Визначте за положенням іншого краю бруска значення його







лінійних розмірів.

Б) Під час вимірювання мензуркою (мірним циліндром) око має дивитися так, щоб лінія зору суміщалася з верхньою лінією поверхні рідини в мірному циліндрі. Визначте об'єм рідини за поділкою шкали мірного циліндра, найближчої до лінії зору.

3. Виміряйте довжину ( $l$ ), ширину ( $d$ ) та висоту ( $h$ ) бруска лінійкою. Вимірювання занесіть до **таблиці 1**. Розрахуйте об'єм бруска  $V = ldh$ . Результат виразити у м<sup>3</sup>.

Таблиця 1

Довжина тіла $l$ , см	Ширина тіла $d$ , см	Висота тіла $h$ , см	Об'єм тіла $V$ , см <sup>3</sup>	Об'єм тіла $V$ , м <sup>3</sup>

4. Налийте в мензурку води та виміряйте її об'єм. Вимірювання занесіть до **таблиці 2**. Значення об'єму води запишіть у см<sup>3</sup>. Врахуйте, що 1 мл = 1 см<sup>3</sup>.

5. Додайте до мірного циліндра сипке тіло. Визначте, наскільки змінився рівень води. Виміряйте об'єм, який займає сипке тіло, як різницю рівнів води до та після досліду. Вимірювання занесіть до **таблиці 2**.

Таблиця 2

Об'єм води $V$ , см <sup>3</sup>	Об'єм води $V$ , м <sup>3</sup>	Об'єм сипкого тіла $V$ , см <sup>3</sup>	Об'єм сипкого тіла $V$ , м <sup>3</sup>

### Контрольні запитання

1. Як, використовуючи мірний циліндр, можна визначити об'єм твердого тіла?
2. Які чинники впливають на точність отриманих результатів?
3. Виразити в СІ значення об'єму води в озері – 1,5 км<sup>3</sup>.

## Лабораторна робота № 3

### Вимірювання розмірів малих тіл

**Мета роботи.** Навчитись виконувати вимірювання методом рядів.

**Прилади і матеріали:** лінійка, набір тіл малих розмірів (пшоно, дріб, горох тощо).

### Теоретичні відомості



Для вимірювання розмірів малих тіл існують спеціальні прилади (наприклад, мікрометр). Розміри маленьких кулястих тіл можна виміряти і звичайною лінійкою, але за умови, якщо таких тіл є велика кількість. Тоді застосовують так званий метод рядів. Його суть полягає в тому, що декілька таких тіл (15-25), складають впритул одне до одного в ряд. Вимірявши лінійкою довжину цього ряду  $l$  та поділивши її на кількість  $N$  предметів, можна визначити діаметр  $d$  однієї кульки  $d = \frac{l}{N}$ .

Аналогічно можна визначити діаметр дроту, намотаного на циліндричну паличку (скляну трубку). Метод рядів можна застосовувати для обчислення розмірів мікрочастинок (молекул, атомів) на мікрофотографіях. За цим методом можна також визначити товщину аркуша підручника.

### **Хід роботи**

1. Складіть ряд з горошинок (15-25 шт.).
2. Виміряйте довжину ряду  $l$  лінійкою. Дані запишіть у **таблицю 1**.

**Таблиця 1**

Досліджуване тіло	Кількість частинок у ряду $N$	Довжина ряду $l$ , мм	Діаметр тіла $d$ , мм	Діаметр тіла $d$ , м

3. Обчисліть діаметр малих тіл  $d$ , запишіть результати обчислень у таблицю.
4. Оцініть результат і похибку вимірювання.
5. Проведіть вимірювання для пшонин. Результати запишіть до таблиці.

### **Додаткове завдання**

1. Визначіть товщину аркуша паперу та опишіть процес вимірювання.
2. Визначіть діаметр нитки та опишіть процес вимірювання.
3. Визначіть об'єм скріпки та опишіть процес вимірювання (додаткове обладнання – мірний циліндр).

### **Контрольні запитання**

1. У чому полягає метод рядів для вимірювання розміру малих тіл?
2. Чи залежить точність отриманого результату від кількості частинок у ряду?
3. Як, на вашу думку, можна оцінити абсолютну похибку визначення розміру однієї частинки?



## Лабораторна робота № 4

## Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу

**Мета роботи.** Ознайомитися з величинами, що характеризують рух тіла по колу.

**Прилади і матеріали:** 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).

**Теоретичні відомості**

Рух матеріальної точки по коловій траєкторії зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом, називають рівномірним рухом по колу.

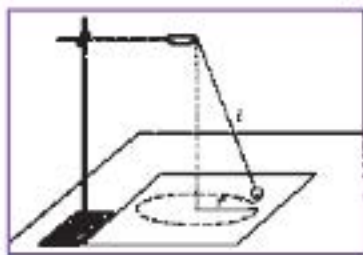
Рівномірний рух по колу характеризується специфічними величинами.

**Період обертання** ( $T$ ) – час одного повного оберту точки, що рухається по колу. Якщо тіло робить  $N$  обертів за час  $t$ , то період обертання становить  $T = \frac{t}{N}$ , де  $t$  – час обертання;  $N$  – кількість зроблених обертів.

**Обертова частота** ( $n$ ) – кількість обертів за одиницю часу. Щоби визначити обертову частоту матеріальної точки, треба кількість зроблених обертів  $N$ , які вона здійснила за час  $t$ , поділити на цей час:  $n = \frac{N}{t}$ .

Швидкість рівномірного руху по колу називають **лінійною швидкістю**. Лінійна швидкість руху тіла по колу спрямована по дотичній до даної точки кола, де розглядається рух тіла.

За період  $T$  матеріальна точка робить один оберт, тобто проходить шлях, що дорівнює довжині кола  $l = 2\pi r$ , тоді модуль лінійної швидкості  $v$  руху визначається:  $v = \frac{2\pi r}{T}$  або  $v = 2\pi r \cdot n$ .

**Хід роботи**

1. Прив'яжіть нитку завдовжки близько 45 см до кульки й підвісьте до кільця штатива.
2. Приведіть кульку в обертання по колу радіусом  $r$ , яке намальовано на аркуші паперу.
3. Виміряйте час  $t$ , наприклад, 15 обертів кульки. Дослід повторити п'ять разів.





- Обчисліть період  $T$  обертання кульки.
- Обчисліть обертову частоту.
- Обчисліть середнє значення лінійної швидкості руху кульки.
- Результати вимірювань та обчислень запишіть до таблиці.

Таблиця

№ досліду	Час обертання $t$ , с	Кількість обертів $N$	Період обертання $T$ , с	Середнє значення періоду обертання $T_{\text{сер}}$ , с	Обертова частота, $n$ , об/с	Середнє значення обертової частоти, $n_{\text{сер}}$ , об/с

### Контрольні запитання

- Чи зміниться період обертання кульки, якщо рахувати не 15, а 30 обертів?
- Чи зміниться період обертання, якщо радіус обертання зменшити у 2 рази (довжину нитки залишити незмінною).

## Лабораторна робота № 5

### Дослідження коливань нитяного маятника

**Мета роботи.** Дослідити нитяний маятник, з'ясувати, від чого залежить його період коливань.

**Прилади і матеріали:** годинник із секундною стрілкою, вимірювальна стрічка, нитка, штатив, набір тягарців, транспортир.

#### Теоретичні відомості

**Маятником** називають тіло, що коливається під дією сили тяжіння або сили пружності. Існує кілька типів маятників: нитяний, фізичний, пружинний.

**Нитяним маятником** називають точкове тіло, підвішене на невагомій і нерозтяжній нитці, яка здійснює рух у вертикальній площині під дією сили тяжіння.

**Період коливань** математичного маятника залежить від довжини нитки та його положення на земній поверхні. Переконайтесь на цьому під час виконання лабораторної роботи.

**Частота коливань** – кількість коливань за одиницю часу  $\nu = \frac{N}{t}$ .

**Період коливань** – тривалість одного повного коливання  $T = \frac{t}{N}$ .



### Хід роботи

1. На краю стола встановіть штатив. Візьміть нитку завдовжки 1 м і підвісьте на ній тягарець.

2. Відхиліть маятник на невеликий кут ( $5^\circ$ ) і без поштовху відпустіть. Пропустіть декілька коливань, а потім за допомогою секундоміра визначіть час  $t$ , за який маятник здійснює  $N = 20$  повних коливань.

3. Повторіть дослід кілька разів й визначте середнє значення часу, за який маятник здійснює 20 коливань.

4. Розрахуйте період коливань та їх частоту.



Таблиця 1

№ досліду	Кількість коливань $N$	Час коливань $t$ , с	Середнє значення часу коливань $t_{\text{сер}}$ , с	Період коливань $T$ , с	Частота коливань $\nu$ , Гц

### Додаткові завдання

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

- Зменшіть довжину нитки у 2 рази і знову визначте період коливань  $T_2$ .
- Виконайте те саме з у чотири рази коротшим маятником ( $l_2 = 25$  см).

Таблиця 2

№ досліду	Довжина маятника $l$ , м	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с

3. Зробіть висновок щодо залежності періоду коливань від довжини нитки.

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

4. Зафіксуйте довжину нитки маятника (наприклад, 50 см) і підвісьте на ній один тягарець. Виконайте вимірювання.

5. Не змінюючи довжини нитки маятника, підвісьте на ній два тягарці (три тягарці) і виконайте вимірювання.



Таблиця 3

№ досліду	Маса маятника $m$ , кг	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с

6. Зробіть висновок щодо залежності періоду коливань маятника від його маси.

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

7. Виконайте три досліди, фіксуючи за допомогою транспортира початковий кут відхилення маятника ( $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ). З'ясуйте, як залежить період коливань маятника від кута відхилення.

Таблиця 4

№ досліду	Кут відхилення $\beta$ , $^\circ$	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с

### Контрольні запитання

1. Вкажіть, які фізичні величини характеризують коливання математичного маятника.
2. Чому для визначення періоду коливань визначають час, за який маятник здійснює 20 коливань, а не безпосередньо визначають час одного коливання?

## Лабораторна робота № 6

### Вимірювання маси тіл методом зважування

**Мета роботи.** Навчитися користуватись важільними терезами та з їх допомогою визначати масу тіл.

**Прилади і матеріали:** терези важільні; різновати; тіла для зважування (наприклад – гайка, кільце штатива, гумка, олівець).

### Теоретичні відомості

#### Правила зважування на важільних терезах:

1. Перед зважуванням переконатись, що терези зрівноважені. При потребі встановлення рівноваги терезів на більш легку шальку покласти шматок паперу, картону тощо.
2. Тіло, що зважують, кладуть на ліву шальку, важки – на праву.
3. На шальку терезів не можна класти мокрі, брудні, гарячі тіла, насипати без підкладки порошки, наливати рідини.





4. Відкрити ящик для різноваг і зняти скло, покласти його перед ящиком для складання різноваг. Запам'ятати, як укладені в ящик пінцет і різноваги. Дрібні різноваги брати лише пінцетом.

5. Якщо різновага перетягує шальку, її кладуть назад у футляр, якщо не перетягує, залишають на шальці. Далі, проробляють те саме з наступною різновагою (*вона повинна бути меншою за попередню*).

6. Зрівноваживши тіло, підраховують загальну масу різноваг, що лежать на шальці. Після цього переносять різноваги у футляр, закривають їх склою, вкладають пінцет та закривають футляр.

### Хід роботи

1. Ознайомитися з правилами зважування і будовою терезів (*див. вище*).
2. Розглянути набір різноваг від найбільшого до найменшого.
3. Визначити межу похибок вимірювання терезами, записати результат (*межею похибки вимірювань маси є половина значення маси найменшої різноваги*).
4. Визначити маси тіл для зважування. Результати зважування записати до лабораторного зошита. Запишіть результат у таблицю.

Таблиця

№ досліду	Назва тіла	Набір різноваг, що зрівноважують тіло	Маса тіла $m, \text{г}$	Маса тіла з урахуванням похибки

### Контрольні запитання

1. Назвіть основні правила користування терезами.
2. Які різноваги треба покласти на шальку важільних терезів, щоб зрівноважити предмет масою 244,83 г, що лежить на протилежній шальці?
3. Внаслідок певних причин важільні терези не перебувають в рівновазі. Наприклад, ліва шалька нижче правої. Яку масу невідомого тіла, більшу істинної чи меншу, покажуть такі терези при зважуванні?
4. Чому терези, що перебувають у частому користуванні, підлягають регулярним перевіркам, що цим досягається?



## Лабораторна робота № 7

## Визначення густини речовини (твердих тіл і рідин)

**Мета роботи.** Навчитися визначати густину твердих та рідких тіл за допомогою терезів та мензурки.

**Прилади і матеріали:** лінійка, брусок, мірний циліндр, терези важільні, різноваги, стакан товстостінний з водою, шматки твердої однорідної речовини неправильної форми, фільтрувальний папір.

**Теоретичні відомості**

**Густина** – фізична величина, що визначає масу речовини в одиниці об'єму.

$$\rho = \frac{m}{V}; \quad [\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Для вимірювання густини рідин використовують **ареометр**.

**Хід роботи****Визначення густини твердого тіла правильної геометричної форми**

1. Зважити металевий брусок на лабораторних терезах, дотримуючись правил зважування.
2. Виміряти лінійкою розміри бруска та обчислити його об'єм.
3. Дані вимірювань занести до таблиці.

Таблиця 1

№ досліду	Маса бруска $m$ , кг	Довжина бруска $a$ , см	Ширину бруска $b$ , см	Товщина бруска $h$ , см	Об'єм бруска $V$ , $\text{см}^3$	Об'єм бруска $V$ , $\text{м}^3$	Густина речовини бруска $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

**Визначення густини твердого тіла неправильної геометричної форми**

1. В циліндр налити  $50 \text{ см}^3$  води.
2. Зважити разом декілька шматочків твердих тіл, що складаються з однакової речовини.
3. Визначити об'єм зважених шматків твердих тіл за допомогою мірного циліндра.
4. Дані вимірювань занести до таблиці.



Таблиця 2

№ досліду	Маса твердих тіл неправильної форми $m$ , кг	Початковий об'єм води в циліндрі $V_1$ , см <sup>3</sup>	Об'єм води в циліндрі з твердими тілами $V_2$ , см <sup>3</sup>	Об'єм твердих тіл неправильної форми $\Delta V_1$ , м <sup>3</sup>	Густина речовини з якої складаються тверді тіла

### Визначення густини рідини

#### I спосіб. Пряме вимірювання густини рідини

1. Визначити ціну поділки ареометра.
2. Налити рідину в товстостінний стакан, щоб у неї повністю можна було занурити ареометр.

3. Обережно опустити ареометр у стакан з рідиною.

4. Записати отримане значення густини з урахуванням похибки.

#### II спосіб. Непряме вимірювання густини

1. Зважити пустий хімічний стакан.

2. Налити в мірний циліндр довільну кількість води і виміряти її об'єм.

3. Воду в мірному циліндрі вилити у зважений сухий хімічний стакан.

4. Зважити хімічний стакан з водою.

5. Визначити масу води в хімічному стакані.

6. Дані вимірювань занести до таблиці.

Таблиця 3

№ досліду	Маса сухого хімічного стакана $m_1$ , кг	Об'єм води в мірному циліндрі $V$ , см <sup>3</sup>	Маса хімічного стакана з водою $m_2$ , кг	Маса води $m$ , кг	Густина води $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

### Додаткове завдання

1. Уважно розгляньте пляшку з-під олії.
2. Знайдіть за вказаними на пляшці даними значення об'єму та маси олії.
3. Розрахуйте густину олії.





## Лабораторна робота № 8

### Дослідження пружних властивостей тіл

**Мета роботи.** Дослідити пружні властивості пружини динамометра, навчитись градувати пружину і виготовляти шкалу із заданою ціною поділки та за її допомогою вимірювати сили.

**Прилади і матеріали:** динамометр лабораторний з неградуйованою шкалою, набір тягарців з механіки масою 102 г (не менше чотирьох), штатив універсальний з муфтами, лапкою і кільцем, паперова смужка, олівець, лінійка.

#### Теоретичні відомості

На практиці часто доводиться вимірювати силу, з якою одне тіло діє на інше. Для вимірювання сили використовують прилад, який називається **динамометр** (від грецьк. динаміс – сила, метрео – вимірюю). Динамометри бувають різної будови. Основна їх частина – сталева пружина, якій надають різної форми залежно від призначення приладу. Принцип роботи динамометра ґрунтується на порівнянні будь-якої сили з силою пружності пружини.

Простий динамометр можна виготовити з пружини з двома гачками на кінцях, закріпленої на дощечці.

#### Хід роботи

1. Прикріпити до динамометра у місці нанесення шкали паперову смужку.

2. Затиснути динамометр в лапку штатива у вертикальному положенні.

3. Підвісити до гачка динамометра спочатку один тягарець (рухомі частини динамометра не повинні торкатись його основи) і нанести олівцем горизонтальний штрих проти стрілки (показника значення величини сили).

4. Послідовно прикріплювати до першого тягарця другий тягарець, третій, четвертий, відмічаючи на папері значення розтягу пружини, починаючи від нульового положення позначки і, відповідно, штрихів, позначених числами 0,1,2,3,4. (Всі відстані між штрихами мають бути розташовані на однаковій відстані).

5. Коли динамометр проградуйовано, зважити ним будь-який предмет, наприклад, кільце від штатива разом з муфтою.





6. Після зважування, зняти виготовлену паперову шкалу і порівняти її зі шкалою, яка нанесена на динамометр на заводі при його виготовленні.

7. Зважити кільце від штатива з муфтою вдруге, скориставшись для визначення ваги тіл заводською шкалою.

8. Зробити висновки щодо точності визначення ваги з допомогою самостійно виготовленої шкали і заводської.

### Контрольні запитання

1. Як називають залежність між силою пружності й видовженням пружини?

2. Пружина динамометра під дією сили 4 Н подовжилась на 5 мм. Визначте вагу вантажу, під дією якого ця пружина подовжиться на 16 мм.

## Лабораторна робота № 9

### Визначення коефіцієнта тертя ковзання

**Мета роботи.** Визначити коефіцієнт тертя ковзання  $\mu$  дерева по дереву, за даними досліду побудувати графік залежності сили тертя від сили тиску бруска на поверхню, по якій він рухається.

**Прилади і матеріали:** динамометр, дерев'яний брусок, лінійка, набір тягарців з механіки масою 102 г.

### Теоретичні відомості

**Сила тертя** – сила, що виникає вздовж поверхні дотику тіл та перешкоджає їх відносному руху.

**Сила тертя ковзання** виникає вздовж поверхні дотику тіл, які рухаються одне відносно одного, при цьому відбувається гальмування їх руху. Сила тертя ковзання напрямлена уздовж поверхонь дотику тіл, протилежно до швидкості їх руху.

Силу тертя при русі тіла по горизонтальній поверхні можна визначити за формулою:

$$F_{\text{тер}} = \mu mg,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання.

### Хід роботи

1. З допомогою динамометра визначте вагу дерев'яного бруска.
2. Розрахуйте масу бруска скориставшись співвідношенням між вагою та масою.

**Примітка.** Якщо динамометр проградуйовано в одиницях маси, то її зна-



чення можна визначити провівши пряме вимірювання (такий динамометр є пружинними терезами).

3. Покладіть брусок на горизонтальну дерев'яну поверхню (парта, лінійка, трибومتر).

4. Прикріпити до бруска динамометр і, рівномірно тягнучи його вздовж горизонтальної поверхні, зафіксувати на динамометрі значення сили тертя.

5. Довантажити брусок одним та двома тягарцями, визначити силу тертя.

6. Визначити значення коефіцієнта тертя для кожного досліду.

*Таблиця*

№ досліду	Вага бруска $P$ , Н	Маса бруска $m$ , кг	Значення сили тертя $F_{\text{тер}}$ , Н	Коефіцієнт тертя	Середнє значення коефіцієнта тертя

7. Визначити середнє значення коефіцієнта тертя.

#### *Контрольні запитання*

1. Чи може коефіцієнт тертя бути більший за одиницю?
2. Чому при початку руху завжди відбувається ривок?

## **Лабораторна робота № 10** **З'ясування умов плавання тіла**

**Мета роботи.** З'ясувати умови плавання тіл.

**Приклади і матеріали:** терези з важками, вимірювальний циліндр (мензурка), пробірка-поплавець із пробкою, дротяний гачок, сухий пісок, сухий клаптик тканини.

#### *Теоретичні відомості*

І сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = g\rho_1 V_1$ , і архімедова (виштовхувальна) сила  $F_A = g\rho_2 V_2$  для одного й того самого тіла залежать тільки від густини рідини й густини тіла. Очевидно, що сила тяжіння більша за архімедову тоді, коли густина тіла більша за густину рідини. І навпаки, сила тяжіння менша за архімедову, коли густина тіла менша за густину рідини.

Знаючи густину тіла і густину рідини, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині:

якщо густина тіла більша за густину рідини  $\rho_1 > \rho_2$ , то воно тоне;

якщо густина тіла дорівнює густині рідини  $\rho_1 = \rho_2$ , то тіло не тоне і не спливає;





якщо густина тіла менша за густину рідини  $\rho_1 < \rho_r$ , то тіло спливає.

### Хід роботи

1. Визначте ціну поділки мензурки.
2. Підготуйте терези для зважування.
3. Відкривши пробірку, засипте в неї трохи сухого піску.
4. Закривши пробірку корком, обережно опустіть її в мензурку.
5. Спостерігайте за плаванням пробірки.
6. Визначте об'єм пробірки за шкалою мензурки.
7. Вийнявши за допомогою гачка пробірку з води і висушивши її фільтрувальним папером, знайдіть її масу за допомогою важільних терезів.
8. Розрахуйте виштовхувальну силу та силу тяжіння, які діють на пробірку в рідині.
9. Порівняйте силу тяжіння і силу Архімеда.
10. Поступово досипаючи пісок у пробірку, досягніть того, щоб занурена пробірка спливала у воді.
11. Вийміть пробірку з води і, висушивши фільтрувальним папером, знайдіть її масу за допомогою терезів.
12. Розрахуйте виштовхувальну силу і силу тяжіння, які діють на пробірку з піском.
13. Порівняйте силу тяжіння і силу Архімеда для цього випадку.
14. Досипте пісок у пробірку так, щоби при зануренні у воду пробірка потонула.
15. За допомогою гачка занурте пробірку у воду і відпустіть.
16. Розрахуйте силу тяжіння і силу Архімеда та порівняйте їх.
17. Результати вимірювань і розрахунків запишіть у таблицю.

Таблиця

№ досліду	Виштовхувальна сила, яка діє на пробірку, $F_A$ , Н	Вага пробірки з піском, $P$ , Н	Поведінка пробірки у воді

### Контрольні запитання

1. Чому плаває важкий корабель, а цвях – тоне?
2. На важільних терезах зрівноважено два вантажі: один залізний, другий свинцевий. Який з них переважить, якщо обидва їх занурити у воду?
3. Коли кипить вода у чайнику, можна помітити, що з дна чайника піднімаються бульбашки повітря і пари, які на поверхні води лопаються. Чому піднімаються бульбашки?



## Лабораторна робота № 11

### Дослідження рівноваги тіл під дією кількох сил

**Мета роботи.** Встановити співвідношення між моментами сил, прикладених до плечей важеля під час його рівноваги.

**Прилади і матеріали:** лінійка; динамометр; штатив з муфтою; важіль; набір тягарців масою по 100 г.

#### Теоретичні відомості

**Важіль** – тверде тіло, яке має вісь обертання. *Рівновага важеля означає, що важіль перебуває у спокої.* Щоб з'ясувати, коли важіль під дією прикладених до нього сил буде у рівновазі, потрібно знати плечі сил – найкоротші відстані від точки обертання до напрямку дії сил. Важіль перебуває у рівновазі, коли сили, що діють на нього, обернено пропорційні плечам цих сил

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$



де  $F_1, F_2$  – сили, що діють на ліву і праву частини важеля,  $l_1, l_2$  – плечі цих сил. Важіль буде у рівновазі, коли сума моментів сил, що обертають важіль за годинниковою стрілкою, дорівнюють сумам моментів сил, що обертають важіль проти годинникової стрілки. Це правило відоме як правило моментів. **Момент сили** – це добуток сили на плече:  $M = Fl$

#### Хід роботи

1. Встановити важіль на штативі й зрівноважити його у горизонтальному положенні за допомогою пересувних гайок, розміщених на його кінцях.
2. Підвісити тягарець у певній точці лівого плеча важеля.
3. Підвісити один тягарець до правого плеча важеля і пересувати його вздовж правого плеча так, щоби важіль залишився у рівновазі.
4. Виміряти лінійкою плечі ( $l_1, l_2$ ).
5. Визначити сили, що діють на ліве та праве плечі важеля (вагу тягарців  $P = F_{\text{тяг}} = mg$ ).
6. Змініть кількість тягарців, підвішених до плечей важеля. Наприклад, до лівого плеча підвісьте два тягарці, до правого – один. Установіть важіль у рівновазі. Потім повторіть дослід, підвісивши до одного плеча важеля два тягарці, до другого – три. Виміряйте плечі сил, коли важіль перебуває в рівновазі, та прикладені сили. Результати вимірювань запишіть у таблицю.
7. Обчисліть моменти сил, що діють на важіль, та порівняйте їх значення.

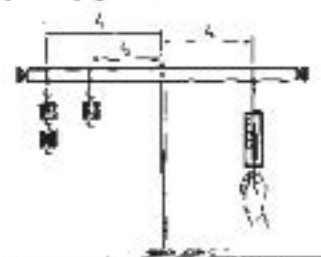


Таблиця 1

№ досліду	Ліва частина важеля			Права частина важеля		
	Сила $F_1$ , Н	Плече сили $l_1$ , м	Момент сили $M_1$ , Н·м	Сила $F_2$ , Н	Плече сили $l_2$ , м	Момент сили $M_2$ , Н·м

**Додаткове завдання**

1. Прикріпити до лівого плеча важеля тягарці як показано на рисунку, до правого – динамометр і визначити силу  $F$ , яку необхідно прикласти до важеля, щоб він перебував у рівновазі.



2. Виміряти лінійкою плечі сил, прикладених до важеля.
3. Обчислити значення всіх моментів сил, що діють на важіль, суму моментів сил, що обертають важіль за годинниковою стрілкою ( $M_{за}$ ), та суму моментів сил, що обертають важіль проти годинникової стрілки ( $M_{проти}$ ).
4. Записати дані до таблиці.

Таблиця 2

№ досліду	Ліва частина важеля							Права частина важеля			
	Сила $F_1$ , Н	Плече сили $l_1$ , м	Момент сили $M_1$ , Н·м	Сила $F_2$ , Н	Плече сили $l_2$ , м	Момент сили $M_2$ , Н·м	Момент сили $M_{пр}$ , Н·м	Сила $F_2$ , Н	Плече сили $l_2$ , м	Момент сили $M_2$ , Н·м	Момент сили $M_{за}$ , Н·м

**Контрольні запитання**

1. Що таке важіль?
2. Для чого використовують важелі?
3. Коли важіль перебуває у рівновазі?
4. Що називають моментом сили?
5. Що називають плечем сили?
6. Як у роботі знаходили сили, що діють на важіль?





## Лабораторна робота № 12

### Визначення ККД похилої площини

**Мета роботи.** Переконатися, що корисна робота менша від витраченої; навчитися визначати коефіцієнт корисної дії простого механізму.

**Прилади і матеріали:** дошка, динамометр, лінійка, брусок, штатив з лапкою.

#### Теоретичні відомості

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** – це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму. ККД чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи:  $\eta = \frac{A_k}{A_n} \cdot 100\%$ .

Корисною називають роботу, для виконання якої застосовують пристрій, наприклад, робота для підйому вантажів. Виконана, або повна, робота – це та робота, яку необхідно виконати під час користування простим механізмом. Витрачена робота завжди більша за корисну, тому що частина роботи (енергії) витрачається на подолання сил тертя і на переміщення окремих частин механізму (важеля, блока тощо).

Для похилої площини корисна робота – це робота, яка виконується при підйманні тіла вгору по вертикалі. Вона дорівнює добутку сили тяжіння на висоту похилої площини  $A_k = F_{\text{тяж}} h$ , де  $F_{\text{тяж}} = mg$ , тобто  $A_k = mgh$ ,  $m$  – маса тіла,  $g$  – сталий коефіцієнт ( $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ ),  $h$  – висота похилої площини. На ту саму висоту можна підняти тіло, рухаючи його по похилій площині. Робота, яку необхідно виконати для переміщення тіла вздовж похилої площини, дорівнює добутку сили  $F$ , яку докладаємо під час руху тіла вздовж цієї площини, на довжину похилої площини:  $A_n = Fl$ .

Правила техніки безпеки: обережно поведіться з приладами, не допускайте їх падіння і руйнування; обережно працюйте з динамометром, не перевантажуйте його.

#### Хід роботи

1. Установіть дошку похило у штативі.
2. Виміряйте висоту і довжину похилої площини.
3. Підвісьте до динамометра брусок та тягарці. Визначте сумарну вагу бруска і тягарців, тобто вагу вантажу, який переміщується вздовж похилої площини,  $P = F_{\text{тяж}}$  та корисну роботу  $A_k = F_{\text{тяж}} h$ .
4. Визначте силу, з якою тіло переміщують по похилій площині  $F$ .
5. Обчисліть витрачену роботу за формулою  $A_n = Fl$ .
6. Обчисліть коефіцієнт корисної дії за формулою  $\eta = \frac{A_k}{A_n}$ .



7. Повторіть досліди, змінюючи висоту похилої площини.
8. Знайдіть для кожного випадку коефіцієнт корисної дії.
9. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю:

Таблиця

№ 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 $A_v$ , Дж	Коефіцієнт корисної дії $\eta$ , %

### Додаткове завдання

Знайдіть ККД, змінивши кут нахилу похилої площини, зробіть висновок про залежність ККД похилої площини від кута її нахилу.

### Контрольні запитання

1. Що таке похила площина?
2. Що називають коефіцієнтом корисної дії механізму?
3. Які одиниці вимірювання ККД?
4. Як знайти ККД похилої площини?
5. Чому корисна робота менша за витрачену?
6. Яке значення може мати ККД?



## Додатки

Таблиця 1.

Основні фізичні величини міжнародної системи одиниць,  
що вивчаються в 7 класі

Таблиця 1. Основні фізичні величини міжнародної системи одиниць, що вивчаються в 7 класі

Назва	Символ	Вимова символу українською	Назва одиниці	Позначення одиниць		Вимірювальний прилад
				українське	міжнародне	
Довжина	$l, L$	ель (лат.)	метр	м	m	лінійка, мікрометр, мірна стрічка, штангенциркуль
Маса	$m$	ем (лат.)	кілограм	кг	kg	терези
Час	$t, T$	те (лат.)	секунда	с	s	годинник, секундомір

Таблиця 2. Похідні фізичні величини міжнародної системи одиниць, що вивчаються в 7 класі

Назва	Символ	Вимова символу українською	Назва одиниці	Позначення одиниць		Вимірювальний прилад
				укр.	міжн.	
Площа	$S$	ес (лат.)	квадратний метр	м <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	—
Об'єм	$V$	ве (лат.)	кубічний метр	м <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	мензурка, мірний циліндр
Шлях	$l$	ель (лат.)	метр	м	m	лінійка, мірна стрічка
Координата тіла	$x$ $y$ $z$	ікс (лат.) ігрек (лат.) зет (лат.)	метр	м	m	лінійка, мірна стрічка
Швидкість	$v$	ве (лат.)	метр за секунду	м/с	m/s	спідометр
Період (обертання тіла)	$T$	те (лат.)	секунда	с	s	—
Обертова частота	$n$	ен (лат.)	оберт за секунду	об/с	r/s	тахометр
Частота (механічних коливань)	$\nu$	ню (грец.)	герц	Гц	Hz	частотометр
Густина	$\rho$	ро (грец.)	кілограм на кубічний метр	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	ареометр
Сила	$F$	еф (лат.)	ньютон	Н	N	динамометр
Вага	$P$	пе (лат.)	ньютон	Н	N	динамометр
Жорсткість пружини	$k$	ка (лат.)	ньютон на метр	$\frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}}$	—
Коефіцієнт тертя	$\mu$	мю (грец.)	один	1	—	—





Тиск	$p$	пе (лат.)	паскаль	Па	Pa	манометр, барометр
Механічна робота	$A$	а (лат.)	джоуль	Дж	J	—
Потужність	$P$	пе (лат.)	ват	Вт	W	—
Енергія	$W$	дубль ве (лат.)	джоуль	Дж	J	—
Момент сили	$M$	ем (лат.)	ньютон на метр	Н·м	N·m	—
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	$\eta$	ета (грец.)	один або відсоток	1 або %	1 або %	—

**Таблиця 3.** Позасистемні одиниці, що їх допущено до використання нарівні з одиницями СІ, які вивчаються в 7 класі

Назва величини	Назва одиниці	Позначення одиниці		Співвідношення з одиницями СІ
		українське	міжнародне	
Об'єм, місткість	літр	л	l, чи L	$1\text{ л} = 1\text{ дм}^3 = 10^{-3}\text{ м}^3$
Маса	тонна	т	t	$1\text{ т} = 10^3\text{ кг}$
Час	хвилина година доба	хв год д	min h d	$1\text{ хв} = 60\text{ с}$ $1\text{ год} = 60\text{ хв} = 3600\text{ с}$ $1\text{ д} = 24\text{ год} = 86400\text{ с}$
Тиск	умовний міліметр ртутного стовпчика	мм рт.ст.	mm Hg	$1\text{ мм рт.ст.} = 133,3224\text{ Па}$

**Таблиця 4.** Основні формули, що вивчаються в 7 класі

Фізична величина	Формула для обчислення	Фізичні величини
Довжина кола	$l_{\text{кола}} = 2\pi R$	$R$ – радіус кола, м $\pi = 3,14$
Площа круга	$S_{\text{круга}} = \pi R^2$	
Площа прямокутника	$S_{\text{прямокутника}} = ab$	$a$ та $b$ – довжини сторін, м
Об'єм паралелепіпеда	$V = Sh$	$S$ – площа основи, м <sup>2</sup> $h$ – висота, м
<b>Рівномірний прямолінійний рух</b>		
Швидкість	$v = \frac{l}{t}$	
Час	$t = \frac{l}{v}$	
Шлях	$l = vt$	



Координата	$x = x_0 + \Delta x$	$x_0$ – початкова координата, м
<b>Періодичні явища</b>		
Швидкість (під час рівномірного руху по колу)	$v = \frac{2\pi r}{T}; v = 2\pi r \cdot n$	$r$ – радіус кола, м
Період	$T = \frac{t}{N}$	$N$ – кількість обертів, коливань
Обертова частота	$n = \frac{N}{t}; n = \frac{1}{T}$	$N$ – кількість обертів
Частота	$\nu = \frac{N}{t}; \nu = \frac{1}{T}$	$N$ – кількість коливань
<b>Взаємодія тіл</b>		
Густина	$\rho = \frac{m}{V}$	$m$ – маса, кг $V$ – об'єм, м <sup>3</sup>
Маса	$m = \rho V; m = \frac{P}{g}$	
Вага	$P = gm$	$g = 9,8$ Н/кг
Сила тяжіння	$F_{\text{тяг}} = gm$	
Сила тертя (при русі по горизонтальній поверхні)	$F_{\text{тер}} = \mu mg$	$\mu$ – коефіцієнт тертя
Сила пружності	$F_{\text{пр}} = kx$	$k$ – жорсткість пружини, Н/м
Сила Архімеда	$F_A = \rho g V$	$V$ – об'єм зануреної частини тіла, м <sup>3</sup> $\rho$ – густина рідини або газу кг/м <sup>3</sup>
Тиск	$p = \frac{F}{S}$	
Гідростатичний тиск	$p = \rho gh$	
<b>Механічна робота та енергія</b>		
Робота	$A = Fs$	$s$ – переміщення тіла під дією сили, м
Потужність	$P = \frac{A}{t}$	
Повна механічна енергія	$W = W_n + W_k$	
Кінетична енергія	$W_k = \frac{mv^2}{2}$	
Потенціальна енергія деформованого тіла (пружини)	$W_n = \frac{kx^2}{2}$	$x$ – видовження пружини, м
Потенціальна енергія тіла піднятого над землею	$W_n = mgh$	$h$ – висота тіла над «нульовим рівнем», м
Момент сили	$M = F \cdot l$	$l$ – плече сили, м
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = \frac{A_k}{A_n}$	$A_k$ – корисна робота, Дж $A_n$ – витрачена робота, Дж



**Таблиця 5.** Множники, префікси та їх позначення для кратних та частинних одиниць СІ

Префікс	Множник	Скорочене позначення		Префікс	Множник	Скорочене позначення	
		укр.	міжн.			укр.	міжн.
Дека	10	да	da	деци	10 <sup>-1</sup>	д	d
Гекто	10 <sup>2</sup>	г	h	санти	10 <sup>-2</sup>	с	c
Кіло	10 <sup>3</sup>	к	k	мілі	10 <sup>-3</sup>	м	m
Мега	10 <sup>6</sup>	М	M	мікро	10 <sup>-6</sup>	мк	μ
Гіга	10 <sup>9</sup>	Г	G	нано	10 <sup>-9</sup>	н	n
Тера	10 <sup>12</sup>	Т	T	піко	10 <sup>-12</sup>	п	p

**Таблиця 6.** Густини деяких твердих тіл (при нормальному атмосферному тиску, t = 20 °С)

Речовина	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ρ, г/см <sup>3</sup>	Речовина	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ρ, г/см <sup>3</sup>
Осмій	22 600	22,6	Мармур	2700	2,7
Іридій	22 400	22,4	Скло віконне	2500	2,5
Платина	21 500	21,5	Фарфор	2300	2,3
Золото	19 300	19,3	Бетон	2300	2,3
Свинець	11 300	11,3	Цегла	1800	1,8
Срібло	10 500	10,5	Цукор-рафінад	1600	1,6
Мідь	8900	8,9	Оргскло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, залізо	7800	7,8	Поліетилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафін	900	0,90
Цинк	7100	7,2	Лід	900	0,90
Чавун	7000	7	Дуб (сухий)	700	0,70
Корунд	4000	4	Сосна (суха)	400	0,40
Алюміній	2700	2,7	Корок	240	0,24

**Таблиця 7.** Густини деяких рідин (при нормальному атмосферному тиску, t = 20 °С)

Речовина	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ρ, г/см <sup>3</sup>	Речовина	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ρ, г/см <sup>3</sup>
Ртуть	13 600	13,60	Гас	800	0,80
Сірчана кислота	1 800	1,80	Спирт	800	0,80
Мед	1 350	1,35	Нафта	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Ацетон	790	0,79
Молоко цільне	1030	1,03	Ефір	710	0,71
Вода чиста	1000	1,00	Бензин	710	0,71
Масло соняшникове	930	0,93	Рідке олово (при t = 400 °С)	6800	6,80
Масло машинне	900	0,90	Зріджене повітря (при t = -194 °С)	860	0,86




**Таблиця 8.** Густини деяких газів (при нормальному атмосферному тиску,  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Речовина	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$	Речовина	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$
Хлор	3,210	0,00321	Оксид карбону (2) (чадний газ)	1,250	0,00125
Оксид карбону (4) (вуглекислий газ)	1,980	0,00198	Природний газ	0,800	0,0008
Кисень	1,430	0,00143	Водяна пара (при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	0,590	0,00059
Повітря (при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	1,290	0,00129	Гелій	0,180	0,00018
Азот	1,250	0,00125	Водень	0,090	0,00009

**Таблиця 9.** Коефіцієнти максимального тертя ковзання ( $\mu$ ) деяких поверхонь.

Матеріали	$\mu$	Матеріали	$\mu$
шкіра – лід	0,05	сталь – сталь	0,4
сталь – лід	0,05	шина – мокрий бетон	0,5
шина – лід	0,02	скло – скло	0,7
дерево – дерево	0,5	гума – дерево	0,7
гума – асфальт	0,4	шина – сухий бетон	0,8

**Всі відповіді до ВПРАВ та ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ****Вправа 3**

1.  $2,8 \cdot 10^3$ ;  $1,46 \cdot 10^8$ ;  $3,47 \cdot 10^{-2}$ ;  $9,4 \cdot 10^{-9}$
2.  $8 \cdot 10^2$  мм; 8 дм;  $8 \cdot 10^{-4}$  м
3.  $8,64 \cdot 10^4$  с

**Завдання для самоперевірки до розділу 1**

1. А
2. Г
3. А
4. В
5. 1Г, 2Д, 3А, 4В
6. 1В, 2Б, 3Г, 4А

**Вправа 4**

5. 4 м, 2 м
6. 700 км, шлях більший за переміщення

**Вправа 5**

1. 8 мс
2. а) 81 000 км; б) приблизно  $2,6 \cdot 10^6$  км; в) приблизно  $9,5 \cdot 10^8$  км
3. 2,56 с
4. Вгору, зі швидкістю 5 см/с

**Вправа 6**

1. 18 км; 20 с; 3 м/с
2. 30 с; 150 м; 60 м
3. 40 км; на 1 год 30 хв; через 3 год; місце зустрічі – 30 км від пункту відправлення першого автобуса; приблизно 11 м/с
4. 62,5 км; 30 хв; 1 год; швидше до зупинки

**Вправа 7**

1. 8 м/с; 10 м/с; 4 м/с; 8 м/с
2. На ділянці DF
3. 4,75 м/с
4. 4,5 м/с
5. 72 км/год
6. 10 км/год; 20 км/год; 5 км/год; приблизно 9,2 км/год



**Вправа 8**

1. Зменшиться у 2 рази
2. Швидкість секундної стрілки у 20 разів більша

**Вправа 9**

1. 8 с
2. 12
3. 2 с; 0,5 Гц

**Завдання для самоперевірки до розділу 2**

1. В
2. Б
3. Б
4. А
5. 7 м/с
6. 0,5 с
7. А-4; Б-5; В-1; Г-3
8. 40 с; 12,5 м/с; 5 м/с
9. 1 м/с
10. 6,28 м/с; 0,5 с
11. 70 км/год

**Вправа 10**

2. 35 Н, 5 Н
4. 30 Н
5. Протилежно до першої, 2 Н
6. 2 Н

**Вправа 12**

1. 1170 кг/м<sup>3</sup>
2. 2,5 м<sup>3</sup>
3. 84,45 кг
- 4.

**Вправа 13**

1. 1400 Н
2. 10 кг



**Вправа 14**

1. 40 Н
2. 0,02 м
- 3.
4. 0,6 кг
5. 7 Н
6. 9 мм
7. Верхнього й нижнього 5 Н

**Вправа 15**

1. 1372 Н
2. Найбільша вага кулі масою 5 кг
3. 3 Н
4. Маса суцільної мідної кулі 1,14 кг, а даної в умові задачі 0,87 кг, значить куля порожниста

**Вправа 16**

1. Для збільшення коефіцієнта тертя між колесами транспортного засобу та дорогою
2. Тіло риби вкрите слизом, що зменшує силу тертя, і риба вислизає з рук
3. 4Н
4. 10 Н
5. 6000 Н
6. У 5 разів

**Вправа 18**

2. 392 кПа
3. 1,5 кПа
4. 3,3 ГПа
5. 13,6 т

**Вправа 19**

1. 1ГПа
2. Найбільший у посудині з ртуттю, найменший – у посудині з гасом
3. 10510 м
4. 120 Н
5. 81 Н



**Вправа 20**

1. 0,04 м
2. 0,85 м
3. 27, 2 см

**Вправа 21**

1. 1,25 Н
2. 300 Н; 180 Н
3. 0,02 м<sup>3</sup>
4. 108 кг

**Вправа 22**

1. Зменшиться
2. 104 м<sup>3</sup>
3. 16 кН
4. 108 Н
5. 108 кг
6. 7200 Н; 9000 Н

**Завдання для самоперевірки**

1. В
2. Г
3. Б
4. Б
5. Б
6. В
7. Б
8. Б,В
9. 0,19 м
10. 199 кПа
11. Г
12. А,В

**Вправа 23**

1. 2 кДж
2. 10 кВт
3. -16 Дж, 4 Дж, 12 Дж
4. 120 МДж



5. 8,2 кВт
6. 55,6 Вт
7. 46,8 кДж
8. 44,1 кДж
9. 750 Вт

**Вправа 24**

1. 18 Дж;
2. 0,05 Дж
3. Збільшиться в 4 рази
4. 1,3 м
5. Кінетична енергія 0, потенціальна 4 Дж
6. 3 кДж
7. 2,5 м
8. 0,5 Дж
9. 200 Н/м

**Вправа 25**

1. При утриманні стрижня за його центр тяжіння сума моментів дорівнює 0. При віддаленні точки опори від центра стрижня збільшується момент сили тяжіння, а відповідно і сила, яку необхідно докласти для утримання стрижня в положенні рівноваги
2. При зігнутому лікті плече сили, з якою діє вантаж на руку, менше, а відповідно меншим є і момент сили
3. 1,33 Н
4. 1,6 Н
5. 0,9 м, 0,1 м
6. 10 см, 30 см
7. 60 см від матері

**Вправа 26**

1. 700 Н
2. Щоби дістати виграш у силі
3. 490 Н
4. 3 м
5. 206 Н
6. 22 Н
7. 20 кг





Вправа 27

1. 80 %
2. 80 %
3. 75 %
4. 9,8 кГ
5. 245 Н
6. 80 кГ
7. 306 Вт
8. 39,2 %

**Завдання для тестового контролю «Механічна робота та енергія»**

1. В
2. Б
3. А
4. А
5. Б
6. В
7. А-4, Б-2; В-3; Г-1
8. Б
9. В
10. В
11. 5 м/с
12. 2,3 кВт
13. 19,6 МДж
14. 16 Дж
15. 4 Н
16. 61%
17. 5,6 кН
18. 1м
19. 1 год 38 хв
20. 26,5 кДж
21. Потенціальна 19,6 Дж, кінетична 10,4 Дж, повна механічна 30 Дж