

П.Ф. Пшенічка  
С.В. Мельничук

# ФІЗИКА

# 7

ББК 22.3я72  
П 93

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ від 20.07.2015 № 777)*

**Видано за рахунок державних коштів.  
Продаж заборонено**

**Пшенічка П. Ф., Мельничук С. В.**  
П 93      Фізика : підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів /  
П. Ф. Пшенічка, С. В. Мельничук. – Чернівці : Букрек, 2015. – 248 с. : іл.  
ISBN 978-966-399-675-2

ББК 22.3я72

ISBN 978-966-399-675-2

© Пшенічка П. Ф., Мельничук С. В., 2015  
© Видавничий дім «Букрек», 2015

## ДОРОГІ ДРУЗІ!

Фізика – це дивовижна наука, яка дає змогу побачити у звичайних предметах і явищах приховану в них сутність; вона є основою техніки і всіх наук про природу. Чим займається фізика, ви зрозумієте, прочитавши вже перший параграф підручника. Ви дізнаєтеся також про найцікавіші й найважливіші відкриття, зроблені в галузі фізики за останні сто років і в останнє десятиріччя.

**Ми пропонуємо вам кілька порад, як користуватися підручником.**

**Насамперед умовні позначки:**



– творче завдання



– тема для дослідження



– вправа



– дослід



– з історії науки



– цікаві факти

Фізика передовсім – наука експериментальна. У підручнику описано багато цікавих і захоплюючих *дослідів*, які ви зможете провести самостійно вдома. Сподіваємося, це принесе вам велике задоволення!

Основний матеріал параграфів, на який необхідно звернути увагу, виділено **півжирним** шрифтом. Наприкінці параграфа є *творчі завдання* (для найбільш допитливих), *контрольні запитання* для самоперевірки і *вправи з усними та письмовими задачами*. Якщо ви зумієте з ними впоратися, то це означає, що матеріал засвоєний добре.

Серед задач трапляються не тільки прості, але й середньої складності та навіть досить важкі. Для їх розв'язання необхідно ще раз уважно перечитати теорію, а можливо, і скористатися довідниками та поміжувати. Складні задачі і розділи теорії відмічено зірочкою \*.

Життя набагато цікавіше за будь-який підручник! Ми зумисне включили до нього *теми для досліджень*, які допоможуть вам зрозуміти, що таке справжні фізичні проблеми.

Мова сучасної фізики досить складна. Тому наприкінці підручника розміщено *словник фізичних термінів*, який допоможе зрозуміти і засвоїти наукові терміни.

**Успіхів вам!**

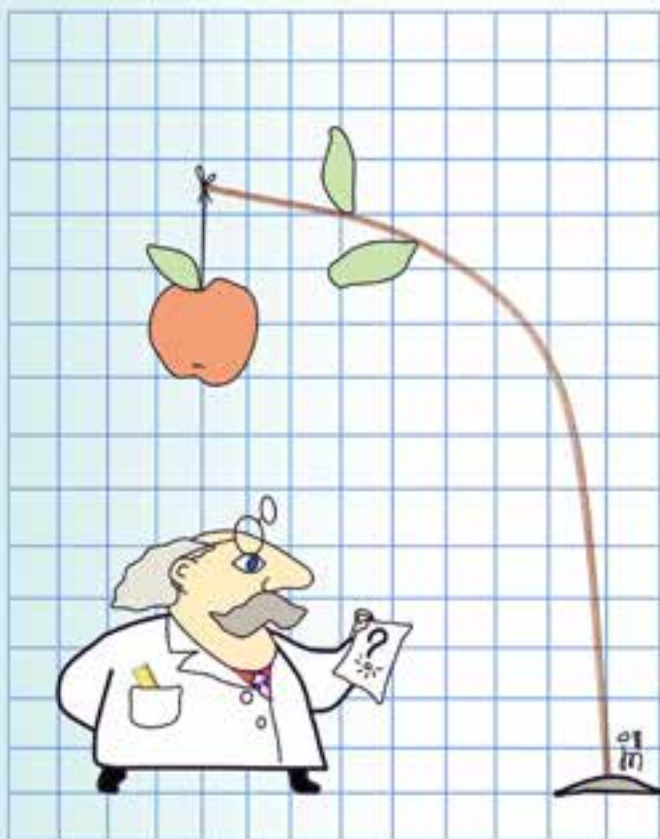
Розділ

1

# ФІЗИКА як природнича наука

наука

фізика – природнича



# § 1. ФІЗИКА ЯК ФУНДАМЕНТАЛЬНА НАУКА ПРО ПРИРОДУ. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

## ЩО ВИВЧАЄ ФІЗИКА

Людина за своєю природою дуже допитлива. Її цікавить усе, що відбувається довкола: чому весну змінює літо, а його – осінь; чому світить сонце; чому день приходить на зміну ночі; звідки вранці з'являється роса; які найменші частинки у світі, а які – найбільші; з чого складається Всесвіт; що чекає на нас у майбутньому і ще багато-багато запитань.

На ці запитання дає відповіді фізика – наука, яка дає можливість зрозуміти природу, бо вже в самій назві криється її суть. *Φύσις* у перекладі з грецької означає «природа». Природу вивчає не тільки фізика, але й біологія, хімія, географія, астрономія. Чим же особлива фізика?

**Фізика – це наука, що вивчає найпростіші й разом з тим найзагальніші властивості та закони руху об'єктів навколишнього світу.**

За цим сухим визначенням з енциклопедії криється величезний світ науки. Ви будете знайомитися з нею поступово, відкриваючи для себе нові й нові вершини фізики.

## ЯК ФІЗИКИ ВИВЧАЮТЬ ПРИРОДУ. ФІЗИЧНІ ЯВИЩА

Ви, мабуть, давно помітили, що світ навколо нас постійно змінюється. Яблука з дерева падають униз, а кулі, наповнені гелієм, піднімаються вгору. **Зміни в природі називають явищами.**

*Події відбуваються у певному порядку*, тобто з плином часу: спочатку під час грози спалахує блискавка (мал. 1.1), а після неї чути гуркіт грому. Чому так відбувається, що є причиною цього?

*Явища мають різну природу.* Падіння яблука та політ повітряної кулі – це механічне явище. Танення сніжинки у долоні – теплове. Грім – це звукове явище, а блискавка – це світлове, електричне та багато інших супутніх явищ.

Як можна зорієнтуватися в такій великій кількості явищ? Як їх вивчити? Розпочинають зі спостережень.

Фізика ґрунтується на фактах, отриманих внаслідок спостережень. Спостереження часто бувають випадковими, але факти добувають у



Мал. 1.1. Явище блискавки

результаті цілеспрямовано проведених експериментів і досліджень з використанням спеціальних **приладів**, проводячи відповідні **вимірювання**. Отримані факти аналізують і намагаються пояснити. Так з'являються припущення, які в науці називають **гіпотезами**. Перевірені багатьма дослідниками гіпотези стають **теоріями**.

**Фізика вивчають явища природи, використовуючи різноманітні прилади, і пояснюють їх фізичними теоріями.**



## ЦЕ ЦІКАВО

### Спостерігаємо за небом

Коли ми дивимося на зоряне небо, нас вражає грандіозність і величність Космосу. Люди спостерігають за небом уже багато тисячоліть. Але по-справжньому зрозуміли та пояснили побачене саме фізики.

Сонце – найближча до нас зоря – це розжарена газова куля, діаметр якої приблизно 1,5 млн км. Наша планета знаходиться від неї на відстані 150 млн км. Температура на «поверхні» Сонця досягає 6000 градусів, а в центрі – уже 15 млн градусів. При таких температурах відбуваються *термоядерні реакції*, які дають можливість зорі випромінювати енергію впродовж десятків мільярдів років. Звідки ж усе це стало відомим?

Виявляється, що світло несе значну інформацію про зорю, зокрема: а) її температуру; б) наближається вона до нас чи віддаляється; в) швидкість руху і г) з яких речовин вона складається.



а)



б)



в)

**Мал. 1.2.** Телескопи: а) оптичний телескоп Галілея; б) дзеркальний телескоп Ньютона; в) сучасний телескоп

Фізичні прилади, встановлені на телескопах, дозволяють виміряти всі ці фізичні величини. Перший лінзовий телескоп побудував італійський фізик Галілео Галілей, а перший дзеркальний телескоп – англійський фізик Ісаак Ньютон.

Фізики навчилися розшифровувати інформацію, що її приносить не тільки видиме світло, а й невидиме інфрачервоне та ультрафіолетове світло, радіохвилі й рентгенівські та гамма-промені.

## Галактики

Сучасні телескопи (*мал. 1.2*) дають змогу бачити зоряні системи – галактики, які знаходяться на величезних відстанях від нас. На *мал. 1.3* зображено фотографію нашої «сусідки» галактики М 31, яку спостерігають у сузір'ї Андромеди.

В ясну погоду темної ночі на небі можна бачити світлу смугу, що тягнеться через увесь небосхил – Чумацький шлях. Вона містить таку величезну кількість зірок, що наше око їх не розрізняє. Це наша Галактика, яка налічує близько 200 млрд зір і має діаметр 100 000 світлових років (світловий рік – це відстань, що її проходить світло за один рік). Цей своєрідний зоряний диск робить один оберт за 250 млн років. Наша Сонячна система (Сонце і планети, які обертаються навколо нього) розташована досить далеко від центру Галактики (близько 26 000 світлових років).



**Мал. 1.3.** Галактика М 31 знаходиться так далеко, що світло від неї до нас йде приблизно 2,8 млн. років (за одну секунду світло долає 300 000 км). Це одне з найближчих до нас зоряних скупчень, і наша Галактика – Чумацький шлях (Galaxy – лат. «молоко») – дуже на неї схожа.

Відстань від найвіддаленіших галактик до нас світло долає приблизно за 14 млрд років. Це означає, що ми бачимо їх такими, якими вони були мільярди років тому. Отож, потужний телескоп, як своєрідна машина часу, дає змогу зазирнути в минуле Всесвіту.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- Фізика вивчають явища природи за допомогою фізичних приладів.
- Зміни в природі називаються явищами.
- Фізика – це наука, що вивчає найпростіші й разом з тим найзагальніші властивості та закони руху об'єктів навколишнього світу.
- При вивченні явищ навколишнього світу фізика спостерігають, роблять досліди й обчислення, на основі яких створюють фізичні теорії.
- Отримані фізиками знання дають нам змогу розуміти навколишній світ і сприяють прогресу людства.



### ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 1.1. Уважно розгляньте *мал. 1.1*. Скільки запитань ви можете поставити про явище блискавки, зображене на малюнку?
- 1.2. Де знаходяться найбільші в світі телескопи? Які їх розміри й характеристики?
- 1.3. Яка основна відмінність між телескопами, сконструйованими двома видатними фізиками – Ньютоном і Галілеєм?



### ВПРАВА 1

1. Що вивчає фізика?
2. Наведіть приклади фізичних явищ: **а)** механічних; **б)** звукових; **в)** теплових; **г)** електричних та **д)** світлових.
3. Для яких потреб використовують у фізиці прилади?
4. Як учені визначають склад зір, їхню температуру та швидкість?
5. Назвіть декілька різновидів телескопів, якими досліджують Всесвіт (*скористайтесь різними джерелами інформації – Інтернетом, енциклопедіями тощо*).
6. Чому телескоп можна назвати своєрідною «машиною часу»?
7. Яку відстань називають «світловим роком»?
8. Яка відстань у кілометрах від нас до Сонця?
9. Яка температура Сонця: **а)** на поверхні та **б)** у центрі.  
Чому слово «поверхня» в тексті параграфу взяте в лапки?
10. Чим є Чумацький шлях?
11. Скільки зір налічує наша Галактика?
12. Як далеко від нас знаходиться «край» Всесвіту?
13. Чому ми спочатку бачимо блискавку, а тільки потім чуємо грім?
14. У скільки разів відстань від Землі до Сонця більша, ніж діаметр Сонця?
15. Обчисліть, яку відстань у кілометрах проходить світло за: **а)** одну хвилину; **б)** одну годину; **в)** одну добу; **г)** один рік?
16. У скільки разів Сонце більше за Землю?
17. Виразіть швидкість світла в м/с.
- \* 18. Чому телескопи будують високо в горах або виносять за межі атмосфери?
- \* 19. На яку відстань від Землі вже поширились у космос сигнали наших радіостанцій?
- \* 20. Чому, коли ми дивимось вночі на зоряне небо, воно здається схожим на сферичний купол? (Так і говорять – «небесна сфера»).

## § 2. ПОЧАТКОВІ ВІДОМОСТІ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ. РЕЧОВИНА І ПОЛЕ

Навколишній світ є матеріальним. Матерія – це все те, що реально існує в природі та може бути виявлене людиною. Нині розрізняють два види матерії – *речовину* і *поле*.

Речовина утворена з маленьких частинок: молекул, що складаються з атомів. А ті, в свою чергу, складаються з електронів, протонів і нейтронів.

Поле здійснює передачу взаємодії між частинками, які утворюють речовину. Воно діє на відстані і його не видно. Але, наприклад, якщо ми підстрибнемо, то *гравітаційне поле* поверне нас назад.

### ІСТОРІЯ ІДЕЇ ПРО НЕПОДІЛЬНІ АТОМИ

Мислителі Стародавньої Греції Левкіпп і Демокріт (V ст. до н. е.) висловили гіпотезу (здогад) про те, що речовини, з яких складаються довколишні тіла, самі складаються з невидимих маленьких частинок. **Тобто речовина не суцільна, а має «зернисту» структуру і поділяється на найпростіші складові – атоми**, які вже далі неможливо поділити («**атомос**» з грецької – *неподільний*). Можливо, ця ідея була запозичена з досвіду будівництва, адже різноманітні за формою спори побудовані всього з кількох різновидів цегли.

На початку XX ст. атомарна гіпотеза була нарешті математично доведена Альбертом Ейнштейном та Маріаном Смуловським й експериментально обґрунтована Жаном Перреном.

Як бачите, для встановлення того «простого» факту, **що мільйони різних речовин складаються лише з сотні різного «сорту» атомів**, знадобилося близько 2500 років.

### АТОМИ Й МОЛЕКУЛИ

Атоми виявилися не такими вже й неподільними. У 1911 р. міжнародній групі вчених під керівництвом англійського фізика Ернеста Резерфорда вдалося встановити, що в центрі атома є маленьке ядро, в якому зосереджена майже вся маса атома. Навколо ядра з величезною швидкістю обертаються електрони (мал. 2.1) подібно до того, як планети обертаються навколо Сонця. Ядро атома складається з протонів і нейтронів. Їхня маса приблизно однакова (нейтрон трішки важчий). **Протон має позитивний заряд, а нейтрон – нейтральний, не має заряду взагалі.**



Мал. 2.1. Модель атома Е. Резерфорда

Електрон набагато легший за протон і нейтрон (приблизно в 2000 разів), і він має негативний заряд. Оскільки заряди протилежних знаків притягуються, то ядро досить сильно утримує біля себе електрони. Отож, атоми міцні й зруйнувати їх не так просто.

Числові значення зарядів протона й електрона однакові. Це найменші електричні заряди, що існують в природі. Їхній заряд називається **елементарним**. Кількість протонів у ядрі дорівнює кількості електронів, що обертаються навколо ядра. Тому атом у цілому електрично нейтральний.



Мал. 2.2. Модель атома Гідрогену, створена Н. Бором

Уперше теорію, яка добре описувала властивості найпростішого з атомів – атома Гідрогену, – створив данець Нільс Бор. Пізніше за допомогою квантової фізики вдалося також описати властивості й складніших атомів.

Кожен атом має спеціальну назву та позначення (символ). Наприклад: Гідроген (H), Оксиген (O), Аурум (Au). Атоми різних видів відрізняються своїми хімічними властивостями та масою. На сьогодні відомо 118 видів атомів, але ми знаємо набагато більше різних речовин. Чому так? Річ у тім, що речовини здебільшого складаються з молекул.

**Молекулою називається найменша частинка речовини, що має її основні хімічні властивості та складається з атомів.**

Кожна молекула – це комбінація певних атомів. Наприклад: молекула води складається з двох атомів Гідрогену й одного атома Оксигену ( $H_2O$ ); молекула азоту – з двох атомів Нітрогену ( $N_2$ ).

Є речовини, молекули яких складаються з дуже великої кількості атомів (сотень і навіть тисяч). Це молекули органічних речовин. Однією з таких є ДНК. Це молекула, що передає спадковий код живих організмів (мал. 2.3). Усередині живої клітини ДНК міститься в згорнутому стані. Якщо б її вдалося витягнути в лінію, то її довжина би сягнула двох метрів.

## ПРОСТІ ТА СКЛАДНІ РЕЧОВИНИ

**Прості речовини** складаються винятково з атомів одного хімічного елемента. Наприклад, кисень складається з двох атомів Оксигену ( $O_2$ ), а озон – із трьох атомів цього ж Оксигену ( $O_3$ ), золото – з одного атома Ауруму.



Мал. 2.3. Модель молекули ДНК



а)

б)

в)

**Мал. 2.4.** Схематичне зображення молекул простих речовин: кисню (а), озону (б) та складної речовини – води (в)

До складу молекул **складних речовин** входять атоми різних елементів. Наприклад, газ метан складається з одного атома Карбону та чотирьох атомів Гідрогену ( $\text{CH}_4$ ), вода складається з одного атома Оксигену й двох – Гідрогену ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

## ПРОМІЖКИ МІЖ МОЛЕКУЛАМИ Й АТОМАМИ

Між молекулами й атомами є проміжки. Це легко довести, провівши дослід.



### ДОСЛІД 2.1

Змішайте 100 мл води та 100 мл спирту, визначте об'єм суміші. Суміш матиме об'єм менший, ніж 200 мл. Так стається тому, що при змішуванні молекули води проникають у проміжки між молекулами спирту.

Щоб уявити, як це відбувається, можна провести ще один дослід.



### ДОСЛІД 2.2

Насипте у склянку пшона стільки, щоб вона була заповнена наполовину. Додайте стільки ж гороху. Склянка заповнена до краю. А тепер обережно перемішайте горох з пшоном і зверніть увагу на загальний об'єм суміші – він став меншим.

## РОЗМІРИ АТОМІВ І МОЛЕКУЛ

Молекули й атоми дуже малі. Їх розміри становлять приблизно  $10^{-10}\text{м}$  (0,0000000001 м). Розмір молекули води –  $3 \cdot 10^{-10}\text{ м}$  (0,0000000003 м). Якщо молекулу води уявно збільшити до розміру яблука, то розмір яблука відповідало б розмірам Землі. В одній чайній ложці води стільки ж молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , скільки приблизно чайних ложок води у Світовому океані (всіх морях й океанах Землі разом узятих).

Розмір ядра атома приблизно у 10 000 разів менший, ніж розмір атома. Між ядром і електронами є незаповнений простір – вакуум (пустота). Але там діє електричне поле.

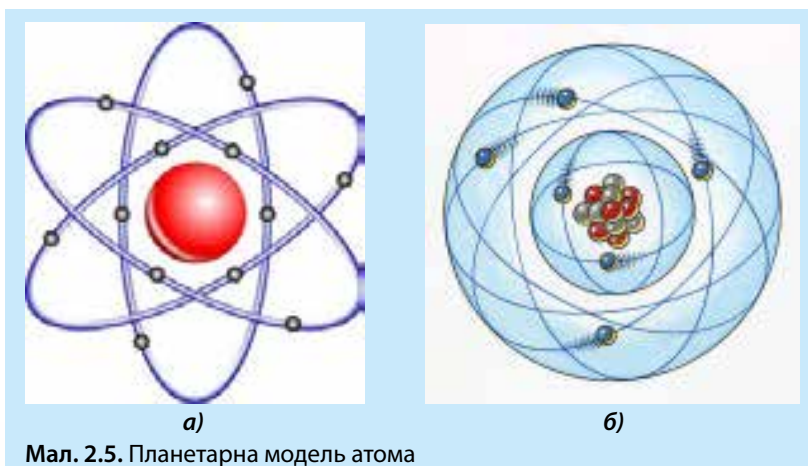


## ЦІКАВО ЗНАТИ

### Хвильова природа матерії

Заряджені частинки взаємодіють за посередництва електричних і магнітних полів, а ядерні частинки (протони і нейтрони) – через ядерне поле.

Планетарна модель, схематично зображена на мал. 2.5а, дещо спрощує будову атома. Розрахунки показали, що електрон в атомі Гідрогену повинен за одну мільйонну долю секунди зробити мільярд обертів навколо ядра, тобто в прийнятному для нас масштабі часу електрон мав би майже одночасно перебувати в усіх точках своєї траєкторії.



Мал. 2.5. Планетарна модель атома

Квантова механіка уточнила уявлення вчених про атом. Електрони атомних оболонок згідно з новою теорією вже більше нагадують хвилі й утворюють так звану електронну хмару. На мал. 2.5б синім кольором зображена область електронної хмари, де ймовірність перебування електронів найбільша, а стара орбіта – це просто місце, де електрони бувають найчастіше. Взаємодія ядра й електронної хмари в атомі здійснюється через електричне поле, яке за своєю силою в багато разів перевищує поле блискавки.

### КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Матерія складається з речовини та поля. Речовина складається з молекул і атомів.
- ➔ Молекула – це найменша частинка речовини, що має її основні хімічні властивості та складається з атомів.
- ➔ Атоми складаються з ядра, в якому знаходяться протони та нейтрони, й електронів, що обертаються навколо ядра з величезними швидкостями, утворюючи електронну хмару (оболонку).
- ➔ Ядро й електрони утримуються в атомі за посередництва електричного поля.
- ➔ Частинки ядра (протони та нейтрони) скріплені ядерним полем.



### ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 2.1. Стародавній мислитель Лукрецій Кар (99–55 рр. до н.е.) стверджував у своїй поемі «Про природу речей», що «існують тільки атоми і пустота». Наскільки він був правий, а в чому, на вашу думку, помилявся?
- 2.2. Чим відрізняються хімічні елементи, що входять до складу таблиці Менделєєва?



### ВПРАВА 2

1. З чого складається речовина?
2. З чого складаються молекули, атоми?
3. З яких частинок складаються атомні ядра?
4. Які сили діють між: а) протонами; б) протонами й електронами?
5. Чим відрізняються прості речовини від складних?
6. Яке поле «склеює» протони і нейтрони в ядрі?
7. Чому протони не розлітаються з ядра атома, адже вони мають однаковий електричний заряд і взаємно відштовхуються?
8. Чим відрізняються різні речовини між собою?
9. У скільки разів один метр більший, ніж атом Гідрогену?
10. У скільки разів атом Гідрогену більший, ніж його ядро?
11. Яка наука пояснила будову складних атомів?
12. Який вид матерії знаходиться між ядром атома і електронними оболонками?
- \* 13. У скільки разів (точно) маса протона більша, ніж маса електрона?
- \* 14. Чи можна точно вказати розміри атома?
- \* 15. Чи діють ядерні сили між електронами?

## § 3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЧЕННЯ

### ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ (МКТ)

Відомий американський фізик Річард Фейнман говорив, що, якби потрібно було передати інопланетній цивілізації коротку, але змістовну інформацію про головні здобутки людства за останні кілька тисяч років, то він би обрав таку фразу:

**Усі тіла складаються з атомів. Вони безперервно і хаотично рухаються та взаємодіють між собою.**

Коротко ці твердження називають «атомістичною гіпотезою», хоча це – доведені факти. Вони є основними положеннями атомно-молекулярного вчення. Довести істинність цих тверджень зараз неважко.

Фото атомів і молекул, які зроблені за допомогою електронних мікроскопів, говорять самі за себе.

## РУХ МОЛЕКУЛ І АТОМІВ

У 1990-х роках ученим вдалося сконструювати електронний мікроскоп, який здійснює зйомку в режимі реального часу рухів молекул газу. Підтвердженням того, що молекули і атоми перебувають у постійному русі, є таке цікаве явище, як дифузія (від латин. *diffusio* – поширення, розтікання) – явище взаємного проникнення молекули однієї речовини у проміжки між молекулами іншої.



а)



б)

Мал. 3.1. Електронні мікроскопи: а) перший; б) сучасний скануючий



### ДОСЛІД 3.1

Попросіть товариша поставити на відстані 1 м пляшечку з парфумами. Визначте час, через який ви відчуєте запах.



### ДОСЛІД 3.2

Наберіть у склянку холодної води і капніть туди 2–3 краплі харчового барвника. Визначте час, через який рідина у склянці стане однорідно забарвленою.

Повторіть дослід із гарячою водою. Порівняйте отримані проміжки часи.

Ці та інші досліді свідчать про те, що дифузія відбувається в газах, рідинах і навіть твердих тілах. Швидкість дифузії залежить від швидкості руху молекул речовини і проміжків між молекулами.

Явище дифузії дуже поширене в природі. Завдяки йому відбувається дихання всіх живих організмів, кисень з повітря потрапляє у водойми та ґрунт.

Обмін поживними речовинами у живому організмі – це теж дифузія.

## ВЗАЄМОДІЯ МІЖ МОЛЕКУЛАМИ Й АТОМАМИ

Усі тіла, що нас оточують, складаються з молекул і атомів. Ці молекули можуть вільно ширятися у просторі, і зокрема, молекули кисню чи вуглекислого газу в повітрі. А інші тримаються «купки», разом: наприклад, стіл, шафа, склянка з водою тощо. Щоби розтягнути, розірвати ці тіла на окремі молекули, треба прикласти силу, бо між молекулами й атомами є взаємодія. На малих відстанях вони одне з одним притягуються, а якщо їх занадто притиснути, то будуть відштовхуватися.

Чому ж уламки розбитої тарілки не скріплюються? Та тому, що при стисканні уламків лише незначна частина атомів наблизиться на таку відстань, щоби подіяли сили притягання. Проте цих сил буде недостатньо, щоб утримувати уламки вкупі. Щоби заповнити проміжки між атомами і щоб подіяло міжатомне притягання, використовують клей.



### ДОСЛІД 3.3

Складіть два аркуші паперу і підніміть один з них над столом. Другий аркуш зісковзне вниз.

Змочіть водою обидва аркуші та знову складіть їх. Спробуйте підняти за кінчик один із них. Другий аркуш, приліпившись до першого, підніметься разом з ним.

Молекули води й паперу наблизилися настільки, що подіяло міжмолекулярне притягання.

Міжмолекулярне (міжатомне) відштовхування заважає нам стиснути тверді тіла й рідини, бо молекули в них розміщені досить щільно. А гази досить легко стискаються (до певної межі), бо вони мають «запас» відстані між молекулами.



### ДОСЛІД 3.4

Наберіть у шприц без голки води так, щоб у ньому не було повітря. Пальцем щільно закрийте отвір для голки й спробуйте стиснути поршнем воду.

Повторіть дослід, набравши у шприц повітря.

До якої межі вдалося стиснути воду та повітря?

Залежно від сили взаємодії між молекулами і атомами речовина може перебувати у *твердому, рідкому чи газоподібному* станах.



Мал. 3.2. Графіт і алмаз складаються з однакових атомів



Мал. 3.3. При кипінні вода перетворюється на пару



Мал. 3.4. Рідкий азот кипить при  $-196^{\circ}\text{C}$

Користь від знання атомно-молекулярного вчення надзвичайна. Наприклад, відомо, що графіт і алмаз складаються з одних і тих самих атомів Карбону (мал. 3.2), але дуже відрізняються за своїми властивостями: графіт м'який, а алмаз – надзвичайно твердий. Коли дослідники зрозуміли будову цих речовин, стало ясно, як можна з дешевого графіту зробити алмаз. Сучасна обробна промисловість вже немислима без інструменту, в якому використовуються штучні алмази.

## ТВЕРДИЙ, РІДКИЙ І ГАЗОПОДІБНИЙ СТАНИ РЕЧОВИНИ

Речовина може перебувати у твердому, рідкому й газоподібному станах, які називають агрегатними. Охолоджуючи воду, при  $0^{\circ}\text{C}$  отримаємо лід. Якщо нагрівати лід, то при  $0^{\circ}\text{C}$  він почне перетворюватися на воду. Вода, доведена до кипіння, починає перетворюватися на пару (мал. 3.3). А якщо водяну пару привести в контакт з холодним тілом, наприклад, перед носиком киплячого чайника тримати холодну ложку або тарілку, то побачимо на цих предметах крапельки води, тобто пара здійснила зворотне перетворення.

Отже, у воді є щось таке, що не змінюється при її переході з рідкого стану в твердий чи газоподібний. Річ у тім, що лід, вода й водяна пара складаються з одних і тих самих молекул, молекул  $\text{H}_2\text{O}$ .

Якщо розплавити сталь, то отримаємо дуже гарячу рідину. Охолоджуючи газ азот, який входить до складу повітря, до мінус  $196^{\circ}\text{C}$ , ми отримаємо прозору і дуже холодну рідину. На мал. 3.4 показано, як киплячий рідкий азот із термоса переливають у склянку.

**Кожна речовина може перебувати у трьох агрегатних станах: твердому, рідкому й газоподібному. Агрегатний стан речовини залежить від температури і від того, як сильно взаємодіють молекули.**

У твердому тілі молекули (атоми) сильно взаємодіють між собою, коливаються біля свого міс-

ця рівноваги й утворюють правильну просторову структуру – кристал. Тому тверді тіла мають певну форму та об'єм (мал. 3.5). У твердому й рідкому станах молекули розташовані майже впритул одна до одної. Взаємодія молекул у рідині достатньо сильна для того, щоб вони трималися разом як єдине ціле, але недостатня для підтримання форми – рідина тече. Рідина у звичайних умовах набуває форми посудини, в якій вона знаходиться, тобто зберігає об'єм, але не має власної форми (мал. 3.6).

Газ не має ні форми, ні об'єму й повністю заповнює посудину, в якій знаходиться (мал. 3.7). Відстані між молекулами газу приблизно у десять разів більші, ніж у рідкому і твердому станах, тому з одного кубічного сантиметра води можна запросто отримати один кубічний дециметр водяної пари.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- Усі речовини складаються з молекул, атомів.
- Атоми і молекули перебувають у постійному безладному русі та взаємодіють між собою.
- Залежно від енергії взаємодії атомів (чи молекул) речовина може перебувати у твердому, рідкому чи газоподібному стані.



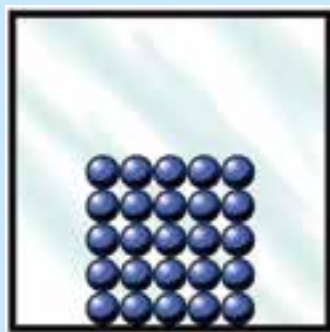
## ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 3.1. Чому графіт потрібно не тільки сильно стиснути, а ще й дуже нагріти, щоб перетворити його на алмаз?
- 3.2. Поясніть механізм розчинення солі чи цукру у воді.
- 3.3. Яка структура фулеренів  $C_{60}$ , карбонових нанотрубок і графене?

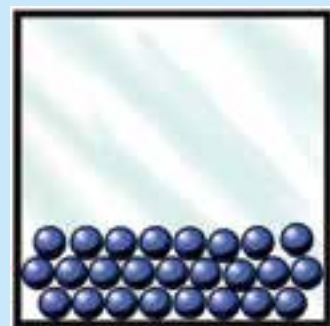


## ВПРАВА 3

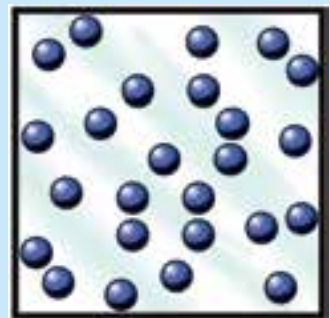
1. Яке твердження, на думку Р. Фейнмана, є дуже важливим у фізиці?
2. Які науки, крім фізики, вивчають будову речовини?
3. Чим відрізняється молекула від атома?



Мал. 3.5. Модель твердого стану



Мал. 3.6. Модель рідкого стану



Мал. 3.7. Модель газоподібного стану

4. Скільки атомів містить молекула вуглекислого газу?
5. Чи змінюються молекули води при переході в твердий чи газоподібний стан?
6. Графіт і алмаз: що у них спільного та чим вони відрізняються?
7. Чим відрізняються між собою молекули різних речовин?
8. Що спільного та які відмінності в будові молекул води й вуглекислого газу?
9. Які атоми та в якій кількості містить молекула  $C_2H_5OH$ ?
- \* 10. Чому вода є хорошим розчинником?
11. Як змінюється відстань між молекулами води при випаровуванні?
12. У якому агрегатному стані перебувають: а) вода; б) лід; в) водяна пара; г) туман?
13. Чи можете ви навести приклад із вашого досвіду, який свідчить про існування проміжків між атомами та молекулами?
- \* 14. Чому цукор розчиняється в гарячій воді швидше, ніж у холодній?
- \* 15. У яких випадках вода може зберігати не тільки об'єм, а й форму?
- \* 16. Чому водяну пару (тобто газ) не видно, а туман можна побачити?

## § 4. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ СІ

### ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ



Мал. 4.1. Явище руху

Явища природи та властивості тіл у фізиці описують за допомогою термінів, наприклад: рух, траєкторія, стан спокою. Описуючи рух (мал. 4.1), можна вказати, куди рухається тіло (вперед, назад чи вгору), велике воно чи маленьке; рухається по прямій чи повертає (вліво чи вправо), а може, взагалі не рухається. Така характеристика руху є **якісною**.

Нас цікавлять і кількісні характеристики: з якою швидкістю рухався автомобіль, яку відстань він проїхав. Кількісною характеристикою тіла чи явища є **фізична величина**. **Фізична величина описує певну властивість тіла або явища**. Вона характеризується числовим значенням і одиницею вимірювання. Наприклад: автомобіль проїхав шлях 30 кілометрів. Скорочено можна записати так:  $S = 30 \text{ км}$ .

Кожна фізична величина має свою назву та символ, яким вона позначається.

Щоб описати явище падіння тіла, можна застосувати такі фізичні величини, як маса тіла, висота, час падіння. Фізичні величини зазвичай позначають латинськими чи грецькими літерами. Масу тіла – літерою « $m$ », висоту – літерою « $h$ », час – літерою « $t$ ». Наприклад, якщо тіло масою 2 кілограми впало з висоти 5 метрів за одну секунду, то пишуть:  $m = 2 \text{ кг}$ ,  $h = 5 \text{ м}$ ,  $t = 1 \text{ с}$ , вживаючи загальноприйняті скорочення:  $\text{кг}$  – кілограм,  $\text{м}$  – метр,  $\text{с}$  – секунда.

Якщо нас цікавить одиниця вимірювання фізичної величини, а не її числове значення, то цю величину пишуть у квадратних дужках. Наприклад, діаметр труби становить  $d = 3,2 \text{ см}$ , а назва одиниці вимірювання (розмірність) записують так:  $[d] = \text{см}$ .



### ДОСЛІД 4.1

#### Чому потрібно вимірювати

Накресліть на аркуші паперу горизонтальний відрізок. Потім проведіть із середини цього відрізка перпендикулярний до нього відрізок такої самої довжини «на око». Виміряйте довжину відрізків лінійкою, і ви пересвідчитесь, що вертикальний відрізок коротший. Ось чому потрібно проводити вимірювання.

## ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ

Прямі вимірювання фізичних величин здійснюють за допомогою приладів. Довжину вимірюють лінійкою, час – годинником, масу – на терезах. Для визначення розмірів дуже малих тіл або великих відстаней використовують більш складні прилади. Виміряти фізичну величину означає порівняти її з певною мірою, яка є копією загальноприйнятого зразка-еталону. Еталонів небагато, і зберігаються вони в спеціальних метрологічних лабораторіях.



### З ІСТОРІЇ НАУКИ

Для вимірювання часу використовували витікання або капання води в посудину з поділками чи пересипання піску – водяний або пісковий годинник (мал. 4.2). Рух Сонця на небі давав змогу вимірювати час за допомогою сонячного годинника (мал. 4.3). Такими годинниками люди користувалися кілька тисячоліть, проте вони мали суттєвий недолік – були досить неточними.

Нині з'явилися дуже точні кварцові годинники, які відраховують час у наручних годинниках, мобільному телефоні чи комп'ютері. Для потреб навігації й науки використовують атомні годинники, які «ходять» настільки точно, що помилка в одну секунду «набігає» за 500 000 років!



Мал. 4.2. Пісковий годинник



Мал. 4.3. Сонячний годинник

Для вимірювання довжини треба мати зразок, довжина якого відповідає загальноприйнятим одиницям вимірювання. Зараз це 1 м. Еталон (зразок) метра зберігається в метрологічних лабораторіях, головна з яких знаходиться у м. Севр (Франція).

Визначати довжину можна ще й іншими одиницями вимірювання – наприклад, канцелярськими скріпками або сірниками, – і сказати: мій зріст становить 80 скріпок чи 36 сірникових коробок. Проте в інших людей скріпки чи сірники можуть виявитись іншого розміру, що ускладнить обмін інформацією.

У давні часи так і було: користувалися футами (довжина ступні, 30 см), дюймами (довжина останньої фаланги великого пальця, приблизно 2,5 см), ярдами, п'ядями, сажнями, ліктями.

Ініціаторами переходу на метричну систему одиниць були французи. Згідно з домовленістю, один метр визначили як одну сорокамільйонну частину довжини меридіана, який проходить через Париж. Для визначення довжини меридіана достатньо було виміряти його частину, що пролягає від півдня Іспанії до півночі Норвегії. Розпочався цей процес у часи Великої французької революції. Днем народження метричної системи мір вважають 10 грудня 1799 р.

На території нашої країни метричну систему мір запроваджено спеціальним декретом 14 вересня 1918 р. Перехід на нові стандарти вимірювань пов'язаний зі зміною звичок, необхідністю перевидання довідників, переобладнанням метричних лабораторій, з перепідготовкою персоналу тощо. Усе це коштує досить дорого. Для США, наприклад, перехід на нові стандарти обійшовся в 11 млрд доларів.

## МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ – СІ

З потреб міжнародного співробітництва у 1960 році більшістю країн світу було підписано угоду про єдину для усіх Міжнародну систему одиниць вимірювання SI – Systeme International (українською мовою – СІ).



Мал. 4.4. Еталон метра зберігається в Міжнародному бюро мір і ваги в Парижі



Мал. 4.5. Еталон кілограма

У СІ є 7 основних одиниць вимірювання, які забезпечені відповідними еталонами. Решта одиниць вимірювання можуть бути виражені через основні одиниці. Для початку нам знадобляться три основні одиниці: метр, кілограм і секунда.

Еталон метра зображено на *мал. 4.4*. Це рейка певного профілю, довжина якої становить одну сорокамільйонну частину меридіану, що проходить через Париж. Перший еталон метра був виготовлений у Франції в 1795 році.

У 1983 році еталон довжини було змінено: тепер метр визначено як відстань, яку проходить світло у вакуумі за  $1/299\,792\,458$  долю секунди.

Еталон кілограма – циліндр з платино-іридієвого сплаву, висота якого дорівнює його діаметрові та становить 39 мм (*мал. 4.5*).

З еталоном секунди ви ознайомитеся в 11 класі.

Таблиця 4.1

Величина	Символ	Розмірність	
		укр.	міжнар.
Довжина	$l$	$m$	$m$
Маса	$m$	$kg$	$kg$
Час	$t$	$s$	$s$
Площа	$S$	$m^2$	$m^2$
Об'єм	$V$	$m^3$	$m^3$
Швидкість	$v$	$m/s$	$m/s$

Площу в СІ вимірюють у  $m^2$  (квадратні метри), об'єм – у  $m^3$  (кубічні метри).

У таблиці 4.1 одиниці площі, об'єму і швидкості є похідними, їх розмірності виводять від основних одиниць вимірювання.

У розрахунках використовують також **кратні** та **частинні** одиниці.

**Кратні одиниці** – це одиниці, більші від основних у 10, 100, 1000 і більше разів. Наприклад:  $1\text{ дм} = 10\text{ см} = 10^1\text{ см}$ ,  $1\text{ м} = 100\text{ см} = 10^2\text{ см}$ ,  $1\text{ км} = 1000\text{ м} = 10^3\text{ м}$ ,  $1\text{ кг} = 1000\text{ г} = 10^3\text{ г}$ .

**Частинні одиниці** – це одиниці, менші від основних у 10, 100, 1000 і більше разів:  $1\text{ см} = 0,01\text{ м} = 10^{-2}\text{ м}$ ,  $1\text{ мм} = 0,1\text{ см} = 10^{-1}\text{ см}$ .

З одиницями часу трохи інакше:  $1\text{ хв} = 60\text{ с}$ ,  $1\text{ год} = 3600\text{ с}$ . Частинними є лише  $1\text{ мс}$  (мілісекунда)  $= 0,001\text{ с} = 10^{-3}\text{ с}$  і  $1\text{ мкс}$  (мікросекунда)  $= 0,000\,001\text{ с} = 10^{-6}\text{ с}$ .

Для позначення кратних і частинних одиниць використовують префікси (*табл. 4.2*).

Таблиця 4.2

## Префікси для позначень кратних і частинних одиниць

Кратність	Префікс		Позначення		Приклад
	українське	міжнародне	українське	міжнародне	
$10^2$	гекто	hecto	г	h	5 гПа (гектопаскаль) = 500 Па
$10^3$	кіло	kilo	к	k	6 кг (кілограм) = 6000 г
$10^6$	мега	mega	М	M	2 МДж (мегаджоуль) = 2 000 000 Дж
$10^9$	гига	giga	Г	G	1 ГГц (гігагерц) = 1 000 000 000 Гц
Частка					
$10^{-1}$	деци	deci	д	d	дм – дециметр
$10^{-2}$	санти	centi	с	c	см – сантиметр
$10^{-3}$	мілі	milli	м	m	мл – мілілітр
$10^{-6}$	мікро	micro	мк	μ	мкм – мікромметр, мікрон
$10^{-9}$	нано	nano	н	n	нм – нанометр

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Фізичні величини кількісно описують певні властивості тіл і явищ.
- ➔ Фізичні величини мають назву, символ, числове значення й одиницю вимірювання.
- ➔ У міжнародній системі одиниць вимірювання (СІ) основні механічні одиниці вимірювання фізичних величин – це метр, кілограм і секунда.
- ➔ Виміряти певну фізичну величину означає порівняти її з мірою-еталоном.



## ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 4.1. Які космічні явища чи об'єкти можна використовувати як дуже точний годинник? Підготуйте невеличке повідомлення на цю тему.
- 4.2. У якій послідовності відбуваються будь-які події? Напишіть невеличке повідомлення на тему «Що таке час?»



## ВПРАВА 4

1. Рух, відстань, час, траєкторія. Які з цих термінів є фізичними величинами, а які – поняттями?
2. Як характеризують фізичні величини?
3. З якою метою була створена Міжнародна система одиниць вимірювання СІ?
4. Навіщо потрібні еталони?

5. Назвіть відомі вам типи годинників. Який із них найточніше вимірює час?
6. В яких установах зберігаються еталони?
7. Чому потрібно проводити вимірювання?
8. Які одиниці вимірювання називають похідними?
9. Виразіть діаметр дводюймової труби в сантиметрах.
10. Виразіть  $1/6$  години в хвилинах.
11. Подайте в основних одиницях 245 мм, 3,5 км, 4 год, 8 хв.
12. Запишіть за допомогою кратних чи частинних одиниць такі значення фізичних величин: 6 400 000 м (радіус планети Земля); 3 844 000 000 м (середня відстань від Землі до Місяця); 0,0000003 (діаметр найменшої відомої бактерії мікоплазми).

## § 5. ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ. ПОХИБКИ

### ВИМІРЮВАННЯ. ЦІНА ПОДІЛКИ ШКАЛИ ПРИЛАДУ

При вимірюванні різних фізичних величин ми знаходимо їхні числові значення з певною точністю. Наприклад, при визначенні розмірів аркуша паперу (довжини, ширини), ми можемо вказати їх із точністю до міліметра; розміри стола – з точністю до сантиметра; розміри будинку, стадіону – з точністю до метра.

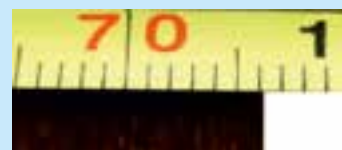
Немає необхідності вказувати розміри стола з точністю до міліметра, а розміри стадіону – до сантиметра чи міліметра. Ми самі в кожній ситуації, досліді й експерименті визначаємо, з якою точністю нам потрібні дані фізичні величини. Проте дуже важливо оцінювати, наскільки точно ми визначаємо фізичну величину, яку помилку (похибку) в її вимірюванні ми допускаємо.

При вимірюванні ми не можемо встановити істинного значення вимірюваної величини, а тільки межі, в яких вона знаходиться.

#### ► ПРИКЛАД 5.1

Виміряємо ширину стола рулеткою із сантиметровими та міліметровими поділками на ній (мал. 5.1). Значення найменшої поділки шкали називають ціною поділки і позначають літерою  $C$ . Бачимо, що ціна поділки рулетки  $C = 1$  мм (або 0,1 см).

Сумістимо нульову поділку рулетки з краєм стола і подивимось, з яким значенням шкали лінійки збігається другий край стола (мал. 5.1). Бачимо, що ширина стола становить трохи більше, ніж 70 см і 6 мм або 706 мм. Але результат наших вимірювань ми запишемо з точністю до 1 мм, тобто  $L = 706$  мм.



Мал. 5.1. Вимірювання довжини лінійкою

## АБСОЛЮТНА ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ $\Delta$ (ДЕЛЬТА)

З мал. 5.1 видно, що ми припускаємо певної похибки і встановити її «на око» досить важко. Ця похибка не більша за половину ціни поділки шкали рулетки. Її називають похибкою вимірювання і позначають  $\Delta L$  («дельта ель»). У цьому експерименті її можна записати:

$$\Delta L = \frac{1}{2} C = 0,5 \text{ мм}$$

Сам результат вимірювання прийнято записувати таким чином: ширина стола  $L = (706,0 \pm 0,5) \text{ мм}$  читають: 706 плюс-мінус 0,5 мм. Ці 0,5 мм в нашому прикладі називають абсолютною похибкою. Значення виміряної величини (706,0 мм) і абсолютної похибки (0,5 мм) повинні мати однакову кількість цифр після коми, тобто не можна записувати  $706 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ .

Такий запис результату вимірювання означає, що істинне значення виміряної величини знаходиться між 705,5 мм і 706,5 мм, тобто  $705,5 \text{ мм} \leq L \leq 706,5 \text{ мм}$ .

## ВІДНОСНА ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ $\varepsilon$ (ЕПСИЛОН)

Інколи важливо знати, яку частину становить наша похибка від значення виміряної величини. Для цього поділимо 0,5 мм на 706 мм. У результаті маємо:

$\frac{0,5 \text{ мм}}{706 \text{ мм}} = 0,0007$ . Тобто наша помилка становить 0,0007 долі від ширини стола, або  $0,0007 \cdot 100 \% = 0,07 \%$ . Це свідчить про досить високу точність вимірювання.

Цю похибку називають відносною і позначають грецькою літерою  $\varepsilon$  (епсilon):

$$\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L} \quad (5.1)$$

Відносна похибка вимірювання свідчить про якість вимірювання. Якщо довжина якогось предмета дорівнює 5 мм, а точність – плюс-мінус 0,5 мм, то відносна похибка становитиме вже 10%.

## СТАНДАРТНИЙ ЗАПИС РЕЗУЛЬТАТУ ВИМІРЮВАННЯ І ВИСНОВКИ

Отже, абсолютна похибка в прикладі 5.1. становить  $\Delta L = 0,5 \text{ мм}$ , а результат вимірювання слід записати в стандартному вигляді:  $L = (706,0 \pm 0,5) \text{ мм}$ . Дослід виконано з відносною похибкою 0,0007 або 0,07%.

На точність вимірювання впливає багато чинників, зокрема:

1. При суміщенні краю стола з поділкою шкали рулетки ми неминуче припускаємося похибки, оскільки робимо це «на око»: дивитися можна під різними кутами.

2. Не зовсім рівно встановили рулетку.

3. Наша рулетка є копією еталона і може дещо відрізнятись від оригіналу.

Усе це необхідно враховувати під час проведення вимірювань.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Вимірювання у фізиці завжди неточні, і потрібно знати межі похибки вимірювань, щоб розуміти, наскільки можна довіряти результатам.
- ➔ Абсолютну похибку вимірювання можна визначити як половину ціни поділки шкали вимірювального приладу.
- ➔ Відносна похибка дорівнює частці від ділення абсолютної похибки на значення виміряної величини (наприклад,  $\varepsilon(L) = \frac{\Delta L}{L}$ ) і вказує на якість вимірювання. Відносну похибку можна виразити у відсотках.



## ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

- 5.1. Підготуйте повідомлення на тему «Як була вперше виміряна довжина земного меридіана».



## ВПРАВА 5

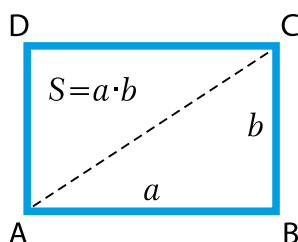
1. Яку мету ставить перед собою дослідник, вимірюючи певну фізичну величину?
2. Назвіть причини, через які вимірювання розмірів предметів чи відстаней можна провести тільки з певною точністю.
3. Коли краще використовувати рулетку замість лінійки?
4. Які прилади використовують для вимірювання великих відстаней?
5. Як можна виміряти за допомогою негнучкої лінійки: а) діаметр м'яча; б) периметр овального стола?
6. Чому недостатньо визначати абсолютну похибку вимірювань, а потрібна ще й відносна похибка?
7. Висота, з якої впав м'ячик, становить:  $h = (1,55 \pm 0,01)$  м. Яка абсолютна та відносна похибка вимірювання?
8. Маса предмета становить 50 г і виміряна з відносною похибкою 0,02. Яка абсолютна похибка вимірювання? Запишіть результат вимірювання в стандартному вигляді.
9. Довжина стола, виміряна лінійкою з сантиметровими поділками, становить приблизно 50 см. Запишіть результат вимірювання в сантиметрах і визначте відносну похибку.

## § 6. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ ТА ОБ'ЄМУ

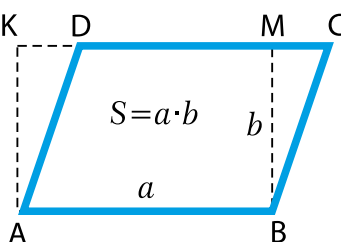
### ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ ПРОСТИХ ФІГУР

У повсякденному житті нам досить часто доводиться мати справу з визначенням таких величин, як площа та об'єм. Уявіть собі, що вам необхідно зробити ремонт у квартирі (чи будинку): побілити стіни і стелю, пофарбувати підлогу. Щоб закупити необхідну кількість матеріалів, потрібно оцінити площу поверхонь та об'єм фарби.

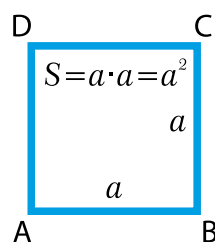
З уроків математики вам відомо, як знаходити площу деяких фігур: квадрата, прямокутника, паралелограма.



Мал. 6.1.



Мал. 6.2.



Мал. 6.3.

Площу прямокутника ABCD (мал. 6.1) знаходять за формулою:

$$S = a \cdot b, \quad (6.1)$$

де  $a$  – ширина прямокутника,  $b$  – висота.

Площу паралелограма ABCD (мал. 6.2) також знаходять за формулою 6.1.

Площу квадрата визначити легко, оскільки його ширина і висота однакові:

$$S = a \cdot a = a^2 \quad (6.2)$$

З мал. 6.1 видно, що площу прямокутного трикутника ABC можна знайти за формулою

$$S = \frac{1}{2} a \cdot b \quad (6.3)$$

Проблема визначення площі круга була вирішена ще в Стародавній Греції. Для цього потрібно знати радіус кола і число «пі», приблизне значення якого  $\pi \approx 3,14$ .

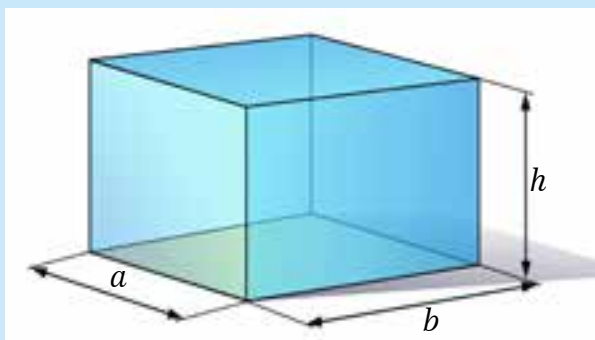
Площа круга дорівнює:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad (6.4)$$

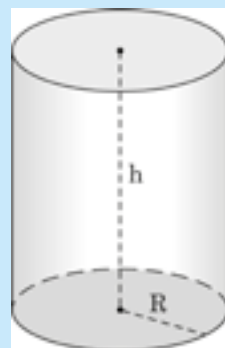
Значення числа  $\pi$  можна отримати, якщо розділити довжину кола  $L$  на його діаметр. Причому не має значення, яких розмірів коло і в яких одиницях виміряні довжина та діаметр (потрібно тільки, щоб це були однакові одиниці).

## ОБЧИСЛЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРОСТИХ ФІГУР

Кожне тіло займає певний об'єм. Чим більшу частину простору займає тіло, тим більший об'єм воно має. Об'єм позначають літерою  $V$  (від *volume* – об'єм). Щоб знайти об'єм прямокутного бруска чи ящика (математики називають цю геометричну фігуру паралелепіпедом) зі сторонами  $a$ ,  $b$  і  $h$ , треба їх перемножити (мал. 6.4):



Мал. 6.4. Паралелепіпед



Мал. 6.5. Циліндр

$$V = a \cdot b \cdot h \quad (6.4)$$

Оскільки  $S = a \cdot b$ , де  $S$  – це площа основи ящика, то формулу (6.4) можна переписати і так:

$$V = S \cdot h \quad (6.5)$$

У куба всі ребра рівні, тому його об'єм дорівнює:

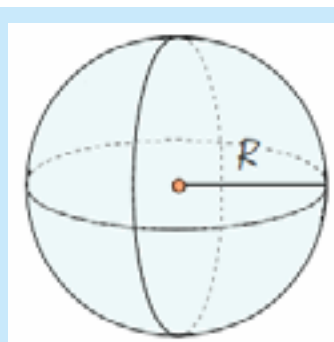
$$V = a \cdot a \cdot a = a^3 \quad (6.6)$$

Об'єм циліндра (мал. 6.5), радіусом основи  $R$  і висотою  $h$ , можна також визначити за формулою (6.5), тобто:

$$V = S \cdot h = \pi R^2 \cdot h \quad (6.7)$$

Об'єм кулі (мал. 6.6):

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (6.8)$$

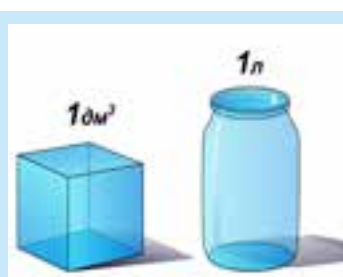


Мал. 6.6. Куля

## ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ

Оскільки довжини сторін вимірюють в одиницях довжини (метр, дециметр, сантиметр і т. д.), то одиниці вимірювання об'єму – це одиниці довжини, піднесені до третього степеня.

Куб з ребром 1 м має об'єм  $1 \text{ м}^3$  (один кубічний метр). Один літр (1 л) – це об'єм куба з ребром 1 дм (мал. 6.7), тобто  $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$  (дециметр кубічний). Один літр містить 1000 кубічних сан-

Мал. 6.7. Один літр – це  $1 \text{ дм}^3$

тиметрів:  $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$ . Об'єм в один сантиметр кубічний ще називають мілілітром, тобто тисячною частиною літра ( $1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$ ).

Нагадаємо, що дециметр – це десята частина метра, а сантиметр – сота частина метра.

Таблиця 6.1

$1 \text{ м}^3 = 1\,000 \text{ л}$	$1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$
$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$	$1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$
$1 \text{ дм}^3 = 1\,000 \text{ см}^3$	$1 \text{ л} = 1\,000 \text{ мл}$
$1 \text{ см}^3 = 1 \text{ мл}$	$1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$

## ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТІЛ НЕПРАВИЛЬНОЇ ФОРМИ



**Мал. 6.8.** Поділкі мензурки визначають об'єм у мілілітрах (тобто  $\text{см}^3$ )

Прилад для вимірювання об'єму називають мензуркою або мірним циліндром (мал. 6.8).

Мензурка – це прозора посудина з нанесеними поділками, які означають об'єм у мілілітрах. Удома у вас, мабуть, є мірна склянка, тобто та сама мензурка. Літрова чи півлітрова банки або склянка (250 мл) також можна використовувати, якщо не потрібна висока точність.

За допомогою мензурки можна визначити об'єм рідини і тіла неправильної форми. Для цього в мензурку треба налити воду і визначити об'єм цієї води. Потім повністю занурити тіло у воду й запам'ятати нове значення об'єму. Різниця виміряних значень дорівнює об'єму тіла.



### З ІСТОРІЇ НАУКИ



Існує легенда, згідно з якою вперше такий спосіб визначення об'єму винайшов давньогрецький учений Архімед. Відбулося це під час роздумів над досить складною задачею, запропонованою царем Гієроном.

Ідея розв'язання виникла тоді, коли Архімед заліз у ванну й помітив, що рівень води піднявся. Учений зрозумів, що витіснений об'єм води якраз дорівнює об'єму зануреного в неї тіла. У захопленні Архімед вистрибнув із ванни і побіг вулицею, вигукуючи «Еврика! Еврика!», що в перекладі з давньогрецької означає «Знайшов! Знайшов!».



### ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

6.1. Визначте об'єм тіла неправильної форми, яке не поміщається у мензурку.



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

6.1. Визначте площу ступні вашої ноги.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Площа тіл правильної форми дорівнює добутку основи на висоту і вимірюється в квадратних одиницях довжини  $S = a \cdot b$ .
- ➔ Об'єм тіл правильної форми визначають як добуток площі основи на висоту і вимірюють у кубічних одиницях  $V = S \cdot h$ .
- ➔ Об'єм тіл довільної форми визначають за допомогою мензурки.
- ➔ Площу круга визначають за формулою  $S = \pi \cdot R^2$ .
- ➔ Об'єм кулі дорівнює  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .



### ВПРАВА 6

1. Скільки мілілітрів в одному літрі?
2. Обчисліть площу прямокутника зі сторонами 5 і 4 см.
3. Обчисліть площу круга діаметром 10 см.
4. Обчисліть об'єм паралелепіпеда зі сторонами 6 см, 5 см і 4 см.
5. Обчисліть об'єм циліндра, площа основи якого  $S = 30 \text{ см}^2$ , а висота – 8 см.
6. Як визначають об'єм тіл довільної форми?
- \* 7. Як можна визначити за допомогою негнучкої лінійки об'єм м'яча?
- \* 8. Як обчислити площу неправильної фігури?

## § 7. ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК І СТАНОВЛЕННЯ ФІЗИКИ

Формули, закони, теорії – це відкриття, які були зроблені у певний час. За кожним відкриттям стоїть людина чи група людей. Завдяки кропіткій науковій роботі ці мислителі зробили наукові відкриття, результатами яких ми користуємося щоденно. Серед них почесне місце посідають українці.

Українські вчені зробили вагомий внесок у розвиток ракетної техніки, атомної енергетики та дослідження космосу. Україна сьогодні входить до «клубу» космічних держав і бере участь у низці престижних міжнародних космічних проєктів. Серед них «Морський старт – Sea Launch» (мал. 7.1). В Україні розви-



**Мал. 7.1.**  
У рамках проекту  
«Морський старт»  
стартує українська  
ракета «Зеніт»

вається кораблебудування, авіабудування, машинобудування, матеріалознавство та багато інших життєво важливих галузей, яких безпосередньо стосується фізична наука. У нас будують найбільші у світі літаки і турбіни.

Розповісти про всіх українських вчених неможливо, проте з деякими з них познайомитися необхідно.



**Іван ПУЛЮЙ (1845–1918)** – видатний фізик та електротехнік, народився в містечку Гримайлів на Тернопільщині, працював у Віденському та Празькому технічних університетах, був радником імператора Австро-Угорщини. Він, зробивши особливу лампу, відкрив і дослідив невідомі на той час Х-промені (тепер рентгенівські промені). Також учений займався будівництвом низки електростанцій у Чехії, керував запровадженням трамваю в Празі.



**Микола БОГОЛЮБОВ (1909–1992)** – визначний фізик-теоретик, народився в Києві, навчався в Київському університеті. У п'ятнадцятирічному віці Боголюбов написав першу наукову працю, а наступного року був прийнятий безпосередньо до аспірантури Української академії наук, отримавши у 20 років ступінь доктора математичних наук. Відомий як математик і фізик-теоретик, досліджував питання будови матерії.



**Олександр СМАКУЛА (1900–1983).** Народився в селі Доброводи Збаразького району на Тернопільщині. Близьке завершив навчання в українській гімназії в Тернополі і виїхав на навчання до Геттінгенського університету. Працював у відомій оптичній фірмі «Цейс» і Массачусетському технологічному інституті (MIT, США). Найбільше його відкриття – «просвітлення оптики», суть якого полягає в тому, що поверхню лінзи покривають тоненькою плівкою, яка зменшує кількість відбитого світла. Такі лінзи відблискують бузковим кольором, ними оснащені фотоапарати, біноклі та інші оптичні прилади.



**Георгій ШАРПАК (1924–2010).** Народився 1924 р. у м. Дубровиця (нині Рівненська обл.). Коли Георгію було 8 років, сім'я емігрувала до Франції. Навчався в гірничій школі, а потім у знаменитому **Колеж де Франс**. З 1959 р. працював у Європейському центрі ядерних досліджень у Швейцарії (ЦЕРН). Там він розробив пристрої для реєстрування частинок, що отримують у спеціальних прискорювачах (колайдерах). Дрейфові камери Шарпака зараз використовуються в детекторах ATLAS та CMS. За свої розробки Георгій Шарпак у 1992 р. отримав Нобелівську премію.



**Абрам ЙОФФЕ (1880–1960)** – видатний фізик і організатор науки. Народився в м. Ромни на Сумщині. Засновник і директор фізико-технічного інституту АН СРСР у Петербурзі. Його основний напрямок у науці – фізика напівпровідників і діелектриків. Навчався в Петербурзі (Росія), Мюнхені (Німеччина). Ініціатор створення фізико-технічних інститутів у Харкові та Дніпропетровську. Учнями А. Ф. Йоффе були Ігор Курчатов та Яків Зельдович (ведучі спеціалісти радянського атомного проекту), майбутні Нобелівські лауреати Микола Семьонов (хімія) та Ігор Тамм, Петро Капіца, Лев Ландау і Жорес Алфьоров – фізика.



**Ігор КУРЧАТОВ (1902–1960).** У 1920 р. закінчив із золотою медаллю сімферопольську гімназію. Навчався в Таврійському університеті в м. Сімферополь. Курчатов заснував і став першим директором Інституту атомної енергії (ІАЕ). Під його керівництвом збудовано циклотрон і уран-графітовий котел, на якому були отримані перші вагові порції Плутонію. У 1949 р. керований Курчатовим колектив створив радянську атомну бомбу, покінчивши з монополією США в цій царині.



**Анатолій АЛЕКСАНДРОВ (1903–1994).** Народився на Київщині, у м. Тараща. Працював учителем у київських школах, а потім – у Київському медичному інституті. У роки Другої світової війни Александров разом з Ігорем Курчатовим керував справами щодо захисту кораблів від магнітних мін і торпед, завдяки чому під час війни жодний корабель, споряджений цією захисною системою, не загинув. За участю Александрова було розроблено та побудовано атомні енергетичні установки для трьох криголамів і реактори на швидких нейтронах РБМК-1000.



**Георгій ГАМОВ (1904–1963)** – видатний фізик ХХ ст. Народився в Одесі, в учительській родині, що походила з нащадків запорізьких козаків Лебединців, чим дуже пишався. У 1921 р. він вступив на математичне відділення фізико-математичного факультету Одеського університету й одночасно підробляв обчислювачем в Одеській астрономічній обсерваторії. Продовжив освіту в Петроградському університеті, який достроково (за три роки) закінчив. Уже в 24 роки він виконав роботу нобелівського рівня, розробивши теорію альфа-розпаду. У 1928 р. вчений отримав стипендію Рокфеллера для навчання в

Геттінгенському університеті (Німеччина). У 1934 р. Гамов емігрував до США, де працював над проектом створення водневої зброї.

Гамов розробив модель «гарячого Всесвіту» (теорію Великого вибуху). Він автор багатьох науково-популярних книг: «Містер Томпкінс у Країні Чудес» (1939), трилогії «Народження й смерть Сонця» (1949), «Біографія Землі» (1941), «Народження Всесвіту» (1952), «Раз, два, три... нескінченність» (1947), «Тридцять років, що сколихнули фізику» (1966).



**Юрій КОНДРАТЮК (1897–1942)** – учений-винахідник, один із теоретиків космонавтики, космічних польотів та основ конструювання космічних кораблів. Народився в Полтаві. Навчався у Другій Полтавській чоловічій гімназії і закінчив її зі срібною медаллю.

Незалежно від Костянтина Ціолковського розробив основи космічних польотів і конструювання міжпланетних кораблів. У праці «Завоювання міжпланетних просторів» (1929 рік) вивів основне рівняння польоту ракети, розглянув енергетично найвигідніші траєкторії космічних польотів, виклав теорію багатоступеневих ракет.

Результати наукової праці Юрія Кондратюка були використані при плануванні висадки американських

астронавтів на Місяць у 1969 р. На зворотному боці Місяця є кратер, названий іменем Кондратюка.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Творчий розум інженерів, винахідників і вчених сприяє розвитку науки, техніки і технологій.
- ➔ Українські вчені-фізики зробили значний внесок у технічний прогрес як своїх країн, так і всього людства.
- ➔ Наше сучасне та майбутнє суттєво залежать від стану й розвитку науки і технологій.



### ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 7.1. Дослідіть, з якою метою створено проект «Морський старт».
- 7.2. Напишіть невелике повідомлення про одного з українських науковців.



### ВПРАВА 7

1. Які галузі науки й техніки розвиваються в Україні на світовому рівні?
2. Назвіть українських учених, які працювали в галузі ядерної фізики.
3. Яких українських науковців сьогоднішньої доби ви знаєте?

## § 8. ЗВ'ЯЗОК ФІЗИКИ З ІНШИМИ НАУКАМИ. ФІЗИКА В НАУЦІ, ТЕХНІЦІ, ВИРОБНИЦТВІ Й ПОБУТІ

### ЧОМУ ВАЖЛИВО ЗНАТИ ФІЗИКУ

Фізика – це цікава та захоплююча наука. Вона дає змогу зрозуміти навколишній світ, привчає до логічного мислення й розвиває творчі здібності.

Найбільші відкриття в біології – генна інженерія, клонування, розшифрування будови молекули ДНК, яка передає код спадковості, – були б неможливі без таких фізичних приладів, як рентгенівські апарати, ультрацентрифуги, холодильні установки, електронні мікроскопи та багато інших.

Цікаво, що існування молекули ДНК задовго до її відкриття передбачили австрійський фізик Ервін Шредінгер та американський фізик українського походження Георгій Гамов.

Лазерні приціли та апарати нічного бачення служать військовим, а лазерні ножі – лікарям. Лазерні шоу прикрашають свята.

Особливо важливою для життя суспільства є роль фізики у створенні нових джерел енергії: від батарейок та електрогенераторів до атомних і термоядерних станцій.

Бурхливий розвиток фізики у XX ст. зумовив появу нових наукових дисциплін: *хімічна фізика і фізична хімія, біофізика, біоенергетика, біоніка та інженерна генетика, астрофізика, космологія і космічна фізика, медична фізика...*

XX століття виявилось століттям несподіваних і захоплюючих відкриттів у фізиці. Усі вони знайшли практичне застосування і суттєво змінили життя людства.

## ФІЗИКА – ОСНОВА ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Комп'ютерами сьогодні користується кожен: від школяра й бухгалтера до інженера та науковця. Появою сучасних комп'ютерів ми завдячуємо дослідженням фізиків у галузі напівпровідникових матеріалів та нанотехнологій. Те, що фізика вже давно проникла у виробництво, техніку, медицину, побут, індустрію розваг, ще раз підтверджує – знання фізики знадобляться кожній людині.



**Мал. 8.1.** Атомні електростанції – основа сучасної енергетики

## СТВОРЕННЯ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

Одна з проблем людства – отримання достатньої кількості енергії.

При відкритті законів ядерної фізики людство отримало небачену могутність, що дало змогу вирішувати питання енергетичної кризи (атомні електростанції (*мал. 8.1*)). Проте виникла загроза самознищення (атомна і воднева зброя). Відкриття антиречовини обіцяє дати в сотні разів потужніші джерела енергії, ніж ядерна.

Узимку відром вугілля можна обігріти квартиру на один вечір. Одне відро урану (якщо звільнити всю ядерну енергію, котра міститься в ньому) може забезпечити півмільйонне місто світлом і теплом упродовж року!

## ВИХІД ЛЮДСТВА В КОСМОС. КОСМІЧНІ АПАРАТИ

За допомогою ракет вдалося подолати земне тяжіння, побудувати космічні станції і навіть побувати на Місяці (*мал. 8.2*). Перший штучний супутник було запущено в 1957 р. у Радянському Союзі, а радянський космонавт Юрій Гагарін став першою людиною, яка побувала в космосі. Космічним апаратам вдалося сфотографувати з близької відстані багато планет Сонячної системи. На Марс, Венеру, Місяць і навіть на супутник Сатурна Титан вдалося висадити дистанційно керовані апарати (*мал. 8.3*).



**Мал. 8.2.** Людина ступила на поверхню Місяця



**Мал. 8.3.** Марсхід Curiosity здійснив посадку на Червоній планеті

Створення космічних апаратів потребує нових технологій. Проте прилади і матеріали космічної промисловості можна застосовувати, наприклад, для виготовлення штучних суглобів у медицині або для виробництва гірських лиж чи автомобільних двигунів. Це, як виявилось, дає великий прибуток. Тому розвинуті країни вкладають у наукові дослідження величезні кошти. Так, програма «Аполлон» – висадка людини на Місяць – обійшлася американцям у 25 млрд доларів. Але прибуток від високих технологій становить 4 долари на кожен витрачений. Це у 20 разів ефективніше, ніж аналогічні асигнування у промисловість. Отже, вкладати гроші у розвиток нових технологій, освіту та фундаментальні дослідження (ті, що є основою всіх інших) вигідно.

## РАДІО, ТЕЛЕБАЧЕННЯ, ІНТЕРНЕТ

Радіо й телебачення – диво, до якого ми вже звикли і сприймаємо як належне. Існування радіохвиль передбачив ще у XIX ст. англійський фізик Джеймс Клерк Максвелл. Минуло 14 років, перш ніж німецький фізик Генріх Герц відкрив ці хвилі, і ще 8 років, аж поки російський фізик Олександр Попов винайшов спосіб їх використання – радіоприймач. Тут беруть свій початок сучасні радіо і телебачення, мобільний телефонний зв'язок, електронна пошта і «всесвітня павутина» – «www» – Інтернет. Цікаво, що Інтернет створено в Європейському центрі ядерних досліджень ЦЕРН у 1995 році (мал. 8.4).



**Мал. 8.4.** «Батько» Інтернету Тім Бернес Лі з Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН)

## СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРІВ

У першій половині XX ст. фізики відкрили новий клас матеріалів, названих напівпровідниками. А в 1948 р. на основі цих матеріалів було створено найважливіший елемент усіх електронних приладів – транзистор. Саме за відкриття транзистора американський фізик Джон Бардін удостоївся найпрестижнішої у світі вчених Нобелівської премії.



Мал 8.5. Сучасний портативний комп'ютер

Проте справжня революція у виготовленні комп'ютерів розпочалася в 1970-ті роки, коли вчені й технологи навчилися вирощувати мільйони транзисторів на невеличких напівпровідникових пластинках, площа яких дорівнює площі нігтя. Сьогодні персональні комп'ютери (мал. 8.5) можна розташувати на столі, а деякі моделі навіть у кишені. Та й виконувати вони можуть мільярди і трильйони операцій за секунду. Наприклад, засоби пам'яті комп'ютерів вже налічують Мб (мегабайти) і Тб (терабайти), а в суперкомп'ютерах – петабайти (Пб).

## ЛАЗЕРИ, АБО ОПТИЧНІ КВАНТОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

У 1964 році Нобелівські премії за відкриття лазера отримали американець Чарлз Таунс і радянські фізики Микола Басов та Олександр Прохоров.



Мал 8.6. Лазерна корекція зору

Лазери проникли буквально в усі сфери життя, зокрема медицину, сільське господарство, побутову радіоелектроніку і навіть індустрію розваг. За допомогою лазерного променя роблять складні операції на оці людини (мал. 8.6).

Проте найцікавіші способи застосування лазерів для демонстрації об'ємного кіно й об'ємного телебачення ще попереду. Потужні волоконні лінії, що використовуються в магістралях для передачі інформації, в тому числі й для роботи Інтернету, – це також сфера застосування лазерів.

Це далеко не всі досягнення фізичної науки. А скільки їх ще попереду!

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Фізика – універсальна наука. Фізичними приладами й теоріями користуються інші науки.
- ➔ Фізика – основа техніки й технології. Завдяки новим матеріалам і джерелам енергії відбувається прогрес.
- ➔ Фізичні теорії пояснюють навколишній світ і розширюють наш світогляд.

- ➔ Найбільші відкриття у фізиці XX століття зроблені в галузі атомної та ядерної фізики.
- ➔ Прогрес у створенні фізичних теорій зумовив виникнення нових галузей техніки і технології.



### ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 8.1. Ми є свідками переходу від ламп розжарювання до газосвітних ламп («економок») і далі до світлодіодних джерел. Які переваги мають нові джерела світла? Напишіть невелике повідомлення на цю тему.
- 8.2. Чим принципово відрізняється світло лазера від світла інших джерел?
- 8.3. Як працює система GPS?
- 8.4. Чим антиречовина відрізняється від речовини?
- 8.5. Як мобільний телефон з'єднує вас із іншим абонентом?

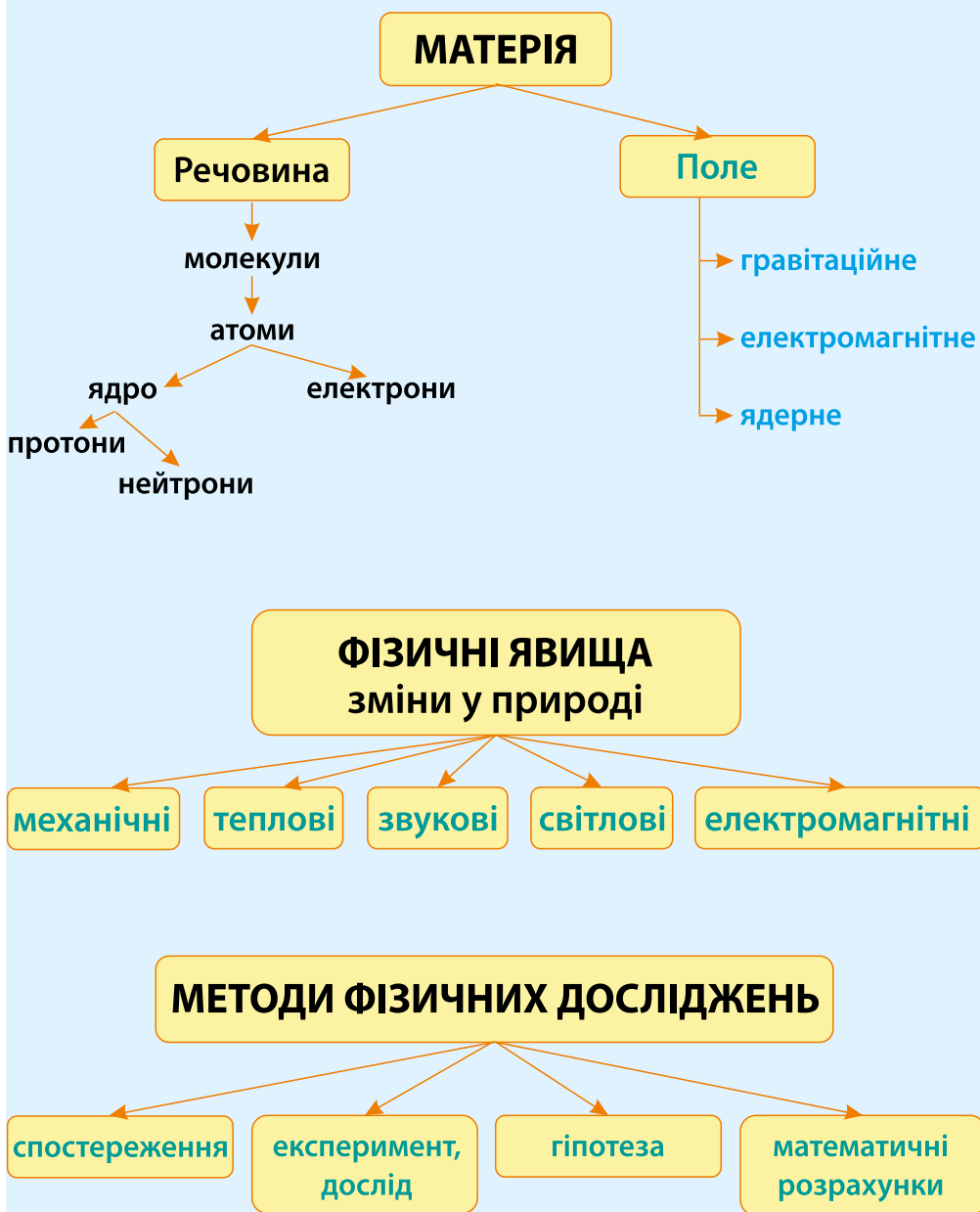


### ВПРАВА 8

1. Який вплив на сучасну енергетику має ядерна фізика?
2. На яких небесних тілах побували космічні апарати?
3. Перелічіть пристрої, в яких використовуються транзистори і мікросхеми.
4. Які прилади дають можливість бачити атоми й молекули?
5. Наведіть приклади застосування лазерів.
6. Товщина волосини приблизно 0,1 мм. Якими стануть розміри волосини (в км) й атома Гідрогену (в см), якщо їх збільшити в мільярд разів?
- \* 7. Звідки приймає телепрограми «тарілка»?
- \* 8. Назвіть основну деталь комп'ютера, яка «керує» всією його роботою.
- \* 9. Які промені використовують у флюорографії?
- \* 10. Який рекорд швидкості потягу на магнітній підвісці?

## ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1

# ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА



## ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Назва	Символ	Одиниці вимірювання, СІ	Формула	Прилади
довжина	$L$	м (метр)		лінійка
площа: прямокутника, паралелограма квадрата трикутника круга	$S$	м <sup>2</sup> (метр квадратний)	$S = a \cdot b$ $S = a \cdot b = a^2$ $S = \frac{1}{2} a \cdot b$ $S = \pi \cdot R^2$	палетка, лінійка
об'єм паралелепіпеда циліндра кулі	$V$	м <sup>3</sup> (метр кубічний)	$V = S \cdot h$ $V = a \cdot b \cdot h$ $V = \pi R^2 \cdot h$ $V = \frac{4}{3} \pi R^3$	лінійка, мензурка

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНОГО ВЧЕННЯ

- ❶ Усі тіла складаються з молекул, атомів.
- ❷ Молекули, атоми неперервно та безладно рухаються.
- ❸ Молекули, атоми взаємодіють між собою

## АГРЕГАТНІ СТАНИ РЕЧОВИНИ

←

газоподібний



↓

рідкий



→

твердий



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

## ВИБЕРІТЬ ПРАВИЛЬНУ ВІДПОВІДЬ:

1. Фізика – це наука про:

А	Б	В	Г
космос	техніку	вимірювання	природу

2. Який з термінів є фізичною величиною:

А	Б	В	Г
годинник	плавлення	шлях	траєкторія

3. Яке з поданих тверджень є правильним?

А	Б	В	Г
Вимірювання температури тіла – це спостереження	Танення льоду – це фізичне явище	Кисень – це фізична величина	Веселка – це фізичний прилад

4. Яке з наведених понять означає речовину: 1. Залізо. 2. Маса. 3. Вода. 4. Радіохвиля.

А	Б	В	Г
1, 4	1, 3	2, 4	2, 3

5. Які фізичні явища спостерігаються під час блискавки?

А	Б	В	Г
світлові	електричні	звукові	усі вказані

6. Яка з рівностей є неправильною?

А	Б	В	Г
$640 \text{ см} = 6,4 \text{ м}$	$30 \text{ хв} = 900 \text{ с}$	$0,46 \text{ м} = 4,6 \text{ дм}$	$2,4 \text{ л} = 2400 \text{ мл}$

7. Розташуйте фізичні величини в тому ж порядку, в якому вказані одиниці їх вимірювання: м, кг, с, м/с. 1. маса; 2. час; 3. швидкість; 4. відстань.

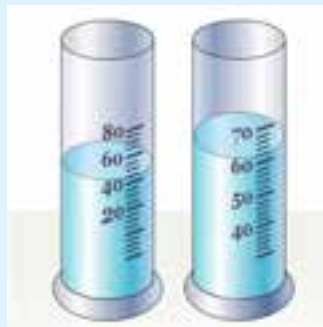
А	Б	В	Г
1, 3, 2, 4	1, 2, 3, 4	2, 3, 1, 4	4, 1, 2, 3

8. Розташуйте подані фізичні поняття і терміни у правильному порядку: падіння м'яча, лінійка, літак, маса, кілограм: 1. Фізичне явище. 2. Фізичне тіло. 3. Вимірний прилад. 4. Одиниця вимірювання. 5. Фізична величина.

А	Б	В	Г
1, 2, 3, 4, 5	2, 3, 1, 4, 5	1, 3, 2, 5, 4	4, 2, 3, 5, 1

## 9. Які об'єми води наливо в мензурки:

А	Б	В	Г
1 – 42 мл, 2 – 62 мл	1 – 45 мл, 2 – 61 мл	1 – 45 мл, 2 – 62 мл	1 – 42 мл, 2 – 61 мл



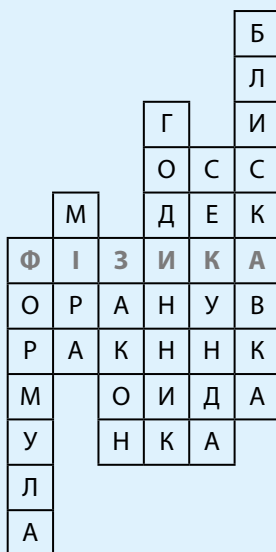
## 10. Яка довжина бруска? Виберіть результат, враховуючи абсолютну похибку.

А	Б	В	Г
$L = (3 \pm 0,5) \text{ см}$	$L = (2 \pm 1) \text{ см}$	$L = (2,0 \pm 0,5) \text{ см}$	$L = (3,0 \pm 0,5) \text{ см}$



## 11. Який об'єм води можна налити в басейн, якщо його довжина – 5 м, ширина – 40 дм, а висота – 120 см? Скільки відер води доведеться налити в басейн, якщо місткість одного відра 10 л?

## 12. Складіть запитання до кросворда:



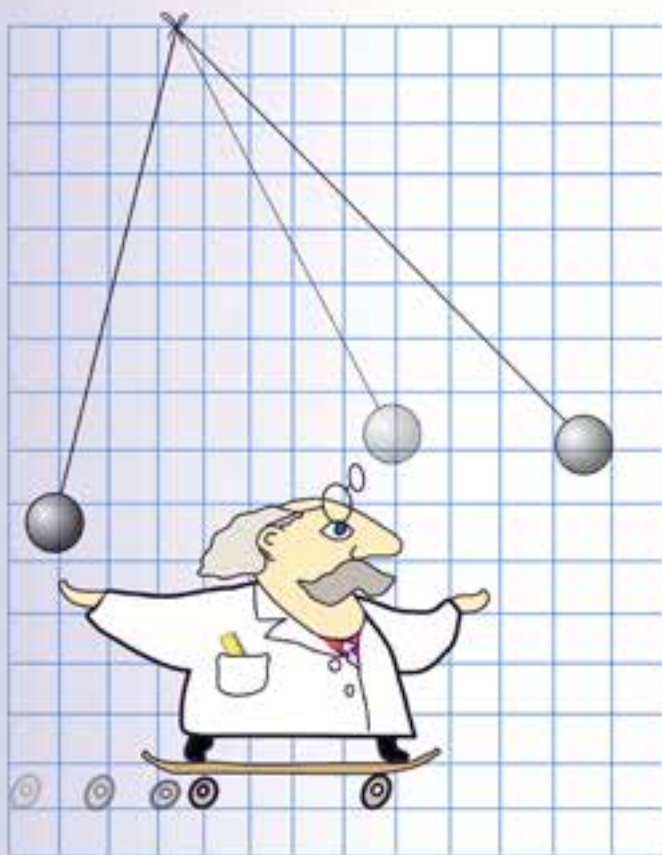
Розділ

2

# Механічний рух

*рух*

*механічний*



## § 9. ЯК ОПИСУЮТЬ МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Хоч кожен має певне уявлення про рух, спочатку потрібно домовитися про точні терміни, які ми будемо вживати, описуючи різноманітні рухи тіл.

### АБСОЛЮТНО ТВЕРДЕ ТІЛО

Тілом у фізиці прийнято називати такий предмет, який має масу, форму та може рухатися як єдине ціле. Це може бути камінь, стовп, автомобіль, м'яч, планета, літак тощо. Але що робити, коли форма тіла дещо змінюється? При цьому зрозуміло, що м'яч легше деформується, ніж камінь.

Розглянемо колесо залізничного вагона (мал. 9.1) і для простоти уявимо собі, що воно взагалі не деформується. Відстань між будь-якими точками такого тіла не змінюється, і його називають **абсолютно твердим тілом**. Зрозуміло, що насправді таких тіл не існує, це просто таке зручне спрощення.

### МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА

Буває так, що в процесі руху розміри, форма та внутрішня будова тіла не мають великого значення. Наприклад, якщо автомобіль довжиною 10 м повинен подолати відстань 100 км, то його власною довжиною можна знехтувати, умовно вважаючи автомобіль просто точкою. При цьому припускають, що маса даної точки дорівнює масі автомобіля, а саму точку називають **матеріальною**. Отже, **матеріальна точка** – це тіло, розмірами якого за деяких обставин можна знехтувати. Літак, що летить в небі (мал. 9.1), або супутник на космічній орбіті можна розглядати як матеріальні точки.

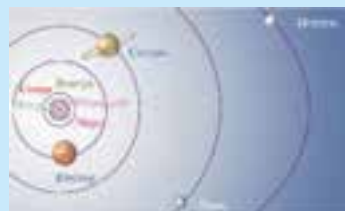
**Таке спрощення, як матеріальна точка, часто використовують у фізиці і називають фізичною моделлю.**



Мал. 9.1. Різні точки одного й того ж тіла можуть рухатися по-різному



Мал. 9.2. Слід від реактивного літака



Мал. 9.3. Кеплер довів, що орбіти (траєкторії) планет є еліпсами



Мал. 9.4. У цьому випадку розміри автомобіля мають значення

### ▶ ПРИКЛАД 9.1

Розглянемо, який шлях повинен проїхати автомобіль довжиною 10 м, щоб переїхати міст довжиною 40 м.

Очевидно, що для цього потрібно проїхати шлях  $40 \text{ м} + 10 \text{ м} = 50 \text{ м}$ . Тобто в даному випадку автомобіль не можна розглядати як такий, що не має розмірів. Для людини, яка рухається мостом, ця відстань мало відрізнятиметься від 40 м.



**Мал. 9.5.** Рейки залізниці показують траєкторію руху потяга



**Мал. 9.6.** Кабіни колеса огляду рухаються поступально

## МЕХАНІЧНИЙ РУХ. ТРАЄКТОРІЯ. ШЛЯХ

**Механічним рухом називають зміну положення тіла в просторі з часом.**

Рух тіла простіше описати, якщо його можна розглядати, як матеріальну точку. **Лінію, що її описує матеріальна точка під час руху, називають траєкторією.** Іноді можна бачити, де пролягає траєкторія руху. Слід, що тягнеться за реактивним літаком (мал. 9.2), або рейки залізниці (мал. 9.5) створюють уявлення про траєкторію руху цих тіл.

Орбіти, якими рухаються планети навколо Сонця, тобто їх траєкторії, були обчислені в XVII ст. німецьким астрономом Йоганном Кеплером, який довів, що вони є еліпсами (мал. 9.3).

Тіло в своєму русі вздовж траєкторії може ще й обертатися. Такий рух описати складніше, бо різні точки тіла можуть рухатися по-різному. Наприклад, червона точка на колісній парі (мал. 9.1) рухається по прямій, жовта точка описує коло навколо центру колеса, а біла точка в даний момент часу взагалі не рухається.

Але і тут існує простий випадок. Розглянемо рух кабін колеса огляду (мал. 9.6). Вісь, до якої вони прикріплені, рухається по колу, але самі кабіни пересуваються так, що їхня підлога залишається горизонтальною. У такому випадку усі точки кабіни описують однакові траєкторії, і тому немає потреби заміняти її матеріальною точкою.

Якщо тіло рухається так, що будь-яка пряма на ньому залишається паралельною самій собі, то такий рух називають поступальним. У подальшому, де це не суттєво, ми будемо вживати термін «тіло», маючи насправді на увазі матеріальну точку.

## ТІЛО ВІДЛІКУ

Коли ми їдемо автомобілем, то змінюємо своє положення відносно дороги, дерев, будинків чи інших автомобілів – ми рухаємося відносно цих тіл. Проте ми не змінюємо свого положення відносно власного автомобіля, тобто відносно нього ми не рухаємося.

**Об'єкти, відносно яких ми визначаємо свій рух, називають тілами відліку.**



**Мал. 9.7.** Космонавтам на МКС здається, ніби вони зависли в просторі, хоча насправді їхня швидкість становить 8 км/с

Зрозуміло, що **швидкість і траєкторія тіла суттєво залежать від вибору тіла відліку**. Якщо такого тіла немає або воно знаходиться дуже далеко, то взагалі важко встановити, рухаємося ми чи перебуваємо в стані спокою. Космонавтам на міжнародній космічній станції МКС (мал. 9.7) здається, ніби вони зависли в просторі, хоча насправді їхня швидкість дуже велика і становить 8 км/с відносно Землі. Подібне відчуття мають пасажирів літака, що летить на значній висоті.

Сидячи в кімнаті, ми не відчуваємо, що рухаємося разом із Землею відносно Сонця з величезною швидкістю 30 км/с. Отже, потрібно зробити висновок, що механічний рух – відносний.

## СИСТЕМА ВІДЛІКУ

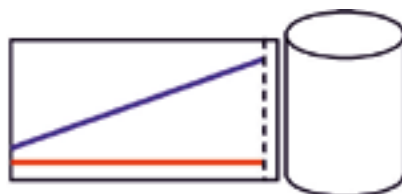
Якщо ми хочемо точніше описати рух, то одного тіла відліку замало, потрібен ще певний спосіб визначення положення рухомого об'єкта в просторі та годинники для відліку часу. Причому необхідно мати принаймні два годинники, які йдуть однаково (тобто синхронізовано): один, зв'язаний з рухомим об'єктом, а другий – з тілом відліку. Все це разом називають **системою відліку**.

Система відліку – це тіло відліку, зв'язана з ним навігаційна система (наприклад, GPS), що дозволяє визначити положення рухомого об'єкта в просторі в будь-який момент часу, і набір синхронізованих годинників.

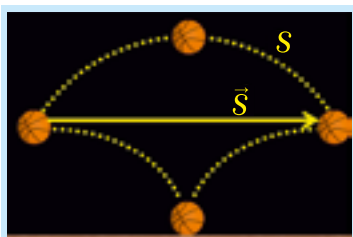


## ДОСЛІД 9.1

Накресліть на аркуші паперу для креслення дві лінії, як на мал. 9.8. Згорніть прямокутник лініями назовні та склейте вздовж пунктирної лінії, утворюючи циліндр. **а)** Які траєкторії утворили синя й червона лінії? **б)** Як можна обчислити довжину цих траєкторій?



Мал. 9.8



Мал. 9.9. Різним траєкторіям тіла може відповідати та сама кінцева точка переміщення



Мал. 9.10. Траєкторія м'яча, його шлях  $s$  і переміщення

## ШЛЯХ І ПЕРЕМІЩЕННЯ. СКАЛЯРИ І ВЕКТОРИ

Незалежно від того, як рухається тіло – по прямій чи по кривій – пройдений ним шлях дорівнює довжині траєкторії (мал. 9.9). Величина пройденого шляху не залежить від напрямку руху. **Куди б не рухалося тіло – вперед чи назад – пройдений ним шлях тільки зростає.** Шлях позначають літерою « $s$ » і вимірюють у СІ в метрах.

Нас може також цікавити, як далеко перемістилося тіло у своєму інколи досить заплутаному русі. Наприклад, на мал. 9.9 нижня лінія може зображати траєкторію м'яча, який веде баскетболіст, ударяючи його об підлогу. Верхня лінія – м'яч, кинутий верхом іншому гравцеві, а середня траєкторія утвориться, коли гравець просто нестиме з собою м'яч. Але в кожному випадку переміщення м'яча однакове.

Щоб знайти переміщення баскетбольного м'яча, кинутого в кільце (мал. 9.10), сполучаємо початок і кінець руху напрямленим відрізком прямої, причому стрілка вказує на кінцеву точку.

**Переміщенням називають напрямлений відрізок прямої, який сполучає початкове та кінцеве положення тіла.** Такі «напрявлені» відрізки в математиці називають **векторами**. Отже, переміщення – це **вектор**.

На малюнку 9.10 жовта пунктирна лінія зображає траєкторію м'яча, довжина якої позначена як « $s$ ». Синя стрілка зображає вектор переміщення м'яча. Переміщення, на відміну від шляху, позначають як « $\vec{s}$ », де стрілка над літерою означає, що це вектор. Величину переміщення вимірюють у метрах, як і шлях, проте їхні числові значення, як ми бачимо, не завжди збігаються.

**Якщо фізична величина характеризується тільки числовим значенням і не потребує визначення напрямку, то вона називається скалярною**

**фізичною величиною, або скаляром. Коли для повного визначення величини потрібно встановити не тільки числове значення, а й напрямок, то її називають векторною фізичною величиною або просто вектором.**

Наприклад, переміщення – це вектор, а шлях і час – скаляри.

## ДОДАВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ – ЦЕ ВМІННЯ ПРАВИЛЬНО МАЛЮВАТИ СТІЛКИ

На малюнках, як ви вже бачили, вектори зображують стрілками (мал. 9.11). Домовимося, що довжина стрілки в певному масштабі дорівнює величині вектора. Нехай переміщення матеріальної точки (жовта крапка) з А в В (синя стрілка) становить 4 м вправо, а з В в С (чорна стрілка) – 1 м вправо. Тоді загальне переміщення з А в С (червона стрілка) становитиме 5 м вправо (мал. 9.12).

У векторній формі послідовні переміщення точки з А в В, а потім в С записують так:

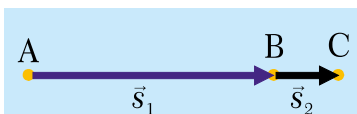
$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \quad (9.1)$$

Якщо рух відбувається по прямій в одну сторону, то пройдений шлях збігається з величиною переміщення, тобто  $s_1 + s_2 = s$  і загальний шлях також становить 5 м.

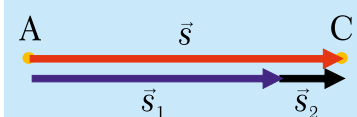
Коли тіло перемістилося спочатку вліво на 4 м, а потім вправо на 1 м, як показано на малюнку 9.13, то загальне переміщення все одно записують як суму векторів  $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ , але величина підсумкового переміщення тепер становить 3 м. Увесь пройдений шлях у цьому випадку знову дорівнює  $s = s_1 + s_2 = 5$  м. У даному випадку величина загального переміщення не збігається з пройденим точкою шляхом.

Два вектори вважаються однаковими, якщо їхні величина і напрямок однакові. Вектор, протилежний даному, але рівний йому за величиною, позначають знаком «-» і записують так:  $\vec{s}_2 = -\vec{s}_1$  (мал. 9.14).

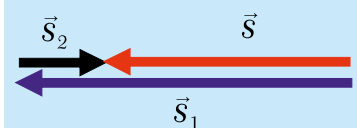
Якщо точка рухається в певній площині з А в В, а потім з В в С (мал. 9.15), загальне переміщення і тут позначають як  $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ , але тепер його розрахунок складніший. У даному випадку можна, наприклад, довжину стрілок накреслити в певному масштабі, а потім лінійкою виміряти довжину загального переміщення і за масштабом встановити його справжню величину (дивіться приклад 9.2).



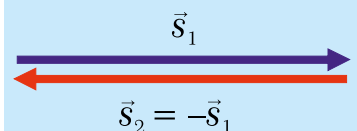
Мал. 9.11



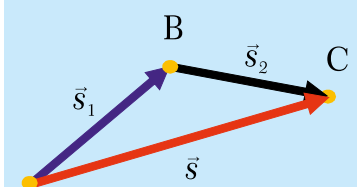
Мал. 9.12



Мал. 9.13



Мал. 9.14

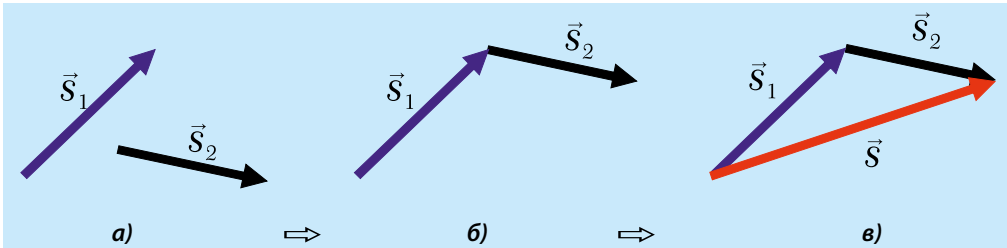


Мал. 9.15

Подібно до переміщень додаються й інші векторні величини (швидкість, прискорення, сила). Правило додавання векторів можна сформулювати так:

**Щоб додати два вектори, потрібно з кінця стрілки першого вектора провести другий вектор. Вектор суми сполучає початок першого вектора з кінцем другого.**

Порядок (алгоритм) додавання векторів зображено на *малюнку 9.16*.

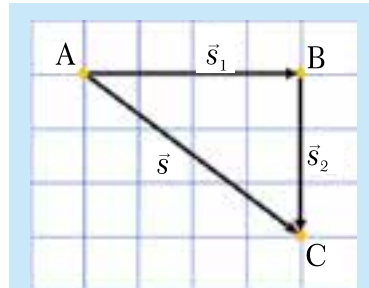


**Мал. 9.16.** а) Щоб додати два вектори  $\vec{s}_1$  та  $\vec{s}_2$ , потрібно  $\Rightarrow$  б) вектор  $\vec{s}_2$  паралельно перенести так, щоб його початок збігся з кінцем вектора  $\vec{s}_1$ .  $\Rightarrow$  в) потім сполучити початок першого вектора з кінцем другого і отримати вектор суми  $\vec{s}$ :  $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

### ► ПРИКЛАД 9.2

Переміщення, які зображені на *мал. 9.17*, відбулися послідовно з А в В, а потім – у точку С. Потрібно визначити усі переміщення, якщо відомо, що одна клітинка відповідає 1 м.

**Розв'язання.** Очевидно, що  $s_1$  містить чотири клітинки, отже  $s_1 = 4$  м. Подібним чином  $s_2 = 3$  м. Загальне переміщення АС ( $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ ) є гіпотенузою трикутника АВС і за величиною дорівнює 5 м. У цьому можна пересвідчитися, вимірявши лінійкою довжину відрізка АС – вона становить рівно 5 клітинок. Другий спосіб полягає в розрахунку довжини гіпотенузи за теоремою Піфагора:  $s^2 = s_1^2 + s_2^2$ , звідки  $s^2 = 25$ , отже  $s = 5$  м.



**Мал. 9.17**

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Матеріальна точка – це тіло, розмірами якого за певних умов можна знехтувати.
- ➔ Механічним рухом називають зміну положення тіла відносно інших тіл з часом.
- ➔ Система відліку дозволяє визначити положення тіла в просторі й описати його рух.
- ➔ Шлях вимірюють уздовж траєкторії, і це скалярна фізична величина.

- ➔ **Переміщення** – векторна фізична величина, яка з'єднує початкове й кінцеве положення матеріальної точки і вказує на напрямок зміни положення точки.
- ➔ Щоб додати два вектори, потрібно з кінця стрілки першого вектора провести другий вектор. Вектор суми сполучає початок першого вектора з кінцем другого.



### ВПРАВА 9

1. Чим відрізняються поняття твердого й абсолютно твердого тіла?
  2. Чи можна вважати автомобіль, що знаходиться в гаражі, матеріальною точкою?
  3. Якою траєкторією рухається жовта точка залізничного колеса (мал. 9.1) відносно: **а)** центра колеса; **б)** залізничного полотна? (Накресліть).
  4. Навіщо вводять поняття матеріальної точки?
  5. Яку траєкторію описує Земля, рухаючись навколо Сонця?
  6. Яким є рух: **а)** колеса огляду; **б)** кабіни колеса огляду?
  7. Які траєкторії описує кожна точка кабіни колеса огляду?
  8. Яким є рух гойдалки – поступальним чи обертальним?
  9. Чому космонавти на МКС бачать зірки навіть удень?
  10. Поясніть, що таке «тіло відліку». Наведіть приклади.
  11. Чому космонавти не відчують руху космічної станції?
  12. Накресліть траєкторію мурахи, яка дійшла від центра хвилинної стрілки годинника до її кінця за 1 хв.
  13. Що ми оплачуємо, коли подорожуємо літаком: шлях чи переміщення?
  14. Чи можна вважати автомобіль матеріальною точкою, коли він переїжджає міст завдовжки 15 м?
  15. У якому випадку шлях і переміщення збігаються за величиною?
  16. Автомобіль, рухаючись по прямому шосе з пункту А в пункт В, проїхав 60 км, а потім повернув і проїхав у протилежному напрямку 20 км. **а)** На якій відстані від пункту А знаходиться автомобіль? **б)** Яка величина загального переміщення автомобіля? **в)** Який загальний шлях автомобіля? **г)** Накресліть вектори всіх переміщень автомобіля.
  17. Яке найменше і яке найбільше переміщення можна отримати, додаючи два переміщення, величини яких дорівнюють 3 м і 7 м?
  18. Яким буде результат додавання двох переміщень, якщо вони рівні за величинами і протилежні за напрямком?
  19. Гелікоптер, рухаючись на сталій висоті, перемістився на 30 км на північ, а потім на схід на 40 км. **а)** Зобразіть на рисунку маршрут гелікоптера, вибравши масштаб: 1 см = 100 км. **б)** Який шлях подолав гелікоптер? **в)** Зобразіть переміщення гелікоптера на малюнку. **г)\*** Якою буде величина загального переміщення гелікоптера?
  20. Шлях, довжина, траєкторія, переміщення, швидкість, час. З-поміж перелічених термінів вкажіть: **а)** фізичні; **б)** скалярні; **в)** векторні величини.
- \* **21. Сформулюйте правило віднімання векторів, використовуючи правило їх додавання.**

## § 10. РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ

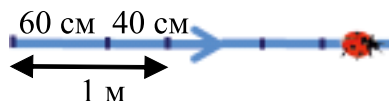
### РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ

Рівномірним називають рух уздовж прямої в одному напрямку, при якому рухома точка робить однакові переміщення за будь-які однакові проміжки часу. Тобто ми повинні стежити за тим, щоб переміщення були однаковими – як за великі, так і за найменші (але однакові) проміжки часу.

#### ▶ ПРИКЛАД 10.1. «Хитрий жук»

«Хитрий жук» летить по прямій в одному напрямку і долає кожну секунду 1 м шляху. Чи можна стверджувати, що він рухається рівномірно?

Для цього потрібно визначити, чи його переміщення за кожні 0,5 с також однакові. Може статися так, що за перші 0,5 с кожної секунди він пролітає 60 см, а за наступні 0,5 с – тільки 40 см. У такому випадку рух жука не є рівномірним.



### ШВИДКІСТЬ

Швидкість – це векторна фізична величина, яка характеризує швидкість переміщення і напрямок руху матеріальної точки відносно вибраної системи відліку. Вона дорівнює відношенню переміщення  $\vec{s}$ , яке пройшло тіло, до часу, протягом якого відбувалося це переміщення:

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

Під час рівномірного руху швидкість тіла однакова за величиною та напрямком, незалежно від того, який за величиною відрізок часу чи шляху ми вибрали.

Можна сказати і так: **рух зі сталою за значенням і напрямком швидкістю є рівномірним та прямолінійним.**

Оскільки швидкість – це вектор, то її позначають літерою  $\vec{v}$  і найчастіше вимірюють у м/с або км/год. Якщо нас цікавить тільки величина швидкості, то це позначають як  $|\vec{v}|$  (читають «модуль ве») або просто  $v$ .

В англійській мові ця швидкість має спеціальну назву, «speed», – звідси походить назва «спідометр» – вимірювач швидкості. Швидкість як вектор в англійській мові називають «velocity» – звідси й позначення величини літерою  $\vec{v}$  та слово «велосипед».

Оскільки при рівномірному русі величина (модуль) переміщення  $|\vec{s}|$  збігається з величиною пройденого шляху  $s$ , то ми для початку розглядатимемо швидкість за шляхом. Для того, щоб коротше висловлювати свої думки, фізики послуговуються мовою математики, тобто подають фізичні закономірності чи поняття у вигляді формул. **Швидкістю за шляхом називатимемо фізичну**

величину, яка дорівнює відношенню пройденого шляху до часу, за який цей шлях було пройдено. Тобто, щоб знайти модуль швидкості « $v$ » тіла, потрібно модуль переміщення (пройдений шлях « $s$ ») розділити на затрачений час « $t$ »:

$$v = \frac{s}{t} \quad (10.1)$$

Такий спосіб визначення швидкості вперше запропонував відомий швейцарський математик Леонард Ейлер. Згідно з формулою (10.1), **шляхова швидкість точки показує відстань, яку пройшло тіло за одиницю часу.**

Знаючи швидкість і затрачений час, із (10.1) можемо знайти пройдений тілом шлях:

$$s = v \cdot t \quad (10.2)$$

Затрачений час, знаючи пройдений шлях і швидкість руху, можна знайти за допомогою формули:

$$t = \frac{s}{v} \quad (10.3)$$

За одиницю швидкості в Міжнародній системі одиниць СІ взято швидкість такого рівномірного руху, при якому матеріальна точка за 1 с переміщується на 1 м:

$$[v] = \frac{m}{c}$$

Нагадаємо: коли нас цікавить одиниця вимірювання фізичної величини, а не її числове значення, то ця величина зазначається в квадратних дужках. Наприклад:  $v = 54$  км/год, а  $[v] =$  км/год.

## КОНВЕРТАЦІЯ ОДИНИЦЬ ШВИДКОСТІ

Якщо автомобіль рухається, наприклад, зі швидкістю 54 км/год, а нам потрібно визначити, який шлях він проходить за одну секунду, необхідно 54 км розділити на кількість секунд в 1 годині. Одна година має 60 хв, а 1 хв – 60 с. Таким чином, за 1 с автомобіль проїде відстань  $54 \text{ км} : 3600 = 0,015 \text{ км}$ . Оскільки 1 км дорівнює 1000 м, то за 1 с автомобіль проходить 15 м, або, іншими словами, його швидкість дорівнює 15 м/с.

І навпаки, якщо нам потрібно дізнатися, скільки км/год становить швидкість 10 м/с (швидкість спринтера-рекордсмена), треба це число помножити на 3600 і розділити на 1000. Отримаємо 36 км/год.

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

### ▶ ПРИКЛАД 10.2 «Автомобіль»

З якою швидкістю рухається автомобіль автострадою, якщо за три години він, рухаючись рівномірно, проїхав 270 км?

Скорочений запис задачі та розв'язання:

**Дано:**

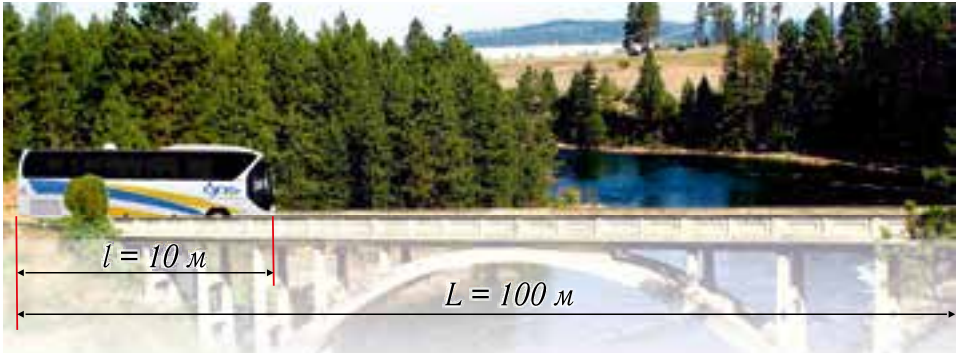
$s = 270 \text{ км}$

$t = 3 \text{ год}$

$v = ?$

**Розв'язання:**За формулою  $v = \frac{s}{t}$  знаходимо:

$$v = \frac{270 \text{ км}}{3 \text{ год}} = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

**Відповідь:** Швидкість автомобіля дорівнює 90 км/год.**ПРИКЛАД 10.3. «Автобус на мосту»** (мал. 10.1)**Мал. 10.1.** Автобус на мосту

Який час витратить автобус довжиною  $l = 10 \text{ м}$ , що рухається зі швидкістю  $v = 72 \text{ км/год}$ , щоб переїхати міст завдовжки  $L = 100 \text{ м}$ ? Розв'яжіть задачу для двох випадків: **а)** вважаючи автобус матеріальною точкою; **б)** не вважаючи автобус матеріальною точкою. Визначте відносну похибку, допущену при застосуванні моделі матеріальної точки.

**Дано:**

$l = 10 \text{ м}$

$v = 72 \text{ км/год}$

$L = 100 \text{ м}$

$t = ?$

**Розв'язання:****а)** вважатимемо автобус матеріальною точкою.Тоді  $t = \frac{L}{v}$ . Перетворимо км/год на м/с:

$$v = \frac{72 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \text{ Отримаємо: } t = \frac{100 \text{ м}}{20 \text{ м/с}} = 5 \text{ с.}$$

**б)** Розв'яжемо задачу точніше, не вважаючи автобус матеріальною точкою. Автобус знаходиться на мосту (мал. 10.1) від моменту, коли тільки торкнувся його передніми колесами, і до моменту, коли з'їхав із нього задніми колесами. Для цього йому доводиться пройти шлях  $L + l = 110 \text{ м}$ .

$$\text{Тоді: } t = \frac{L + l}{v}; \quad t = \frac{110 \text{ м}}{20 \text{ м/с}} = 5,5 \text{ с.}$$

Абсолютна похибка при наближеному розв'язку складає:

$$5,5 \text{ с} - 5 \text{ с} = 0,5 \text{ с}.$$

Відносна похибка становить:  $0,5 \text{ с} / 5 \text{ с} = 0,1$  або  $0,1 \cdot 100\% = 10\%$ .

**Відповідь.** Автобус проїде міст за 5,5 с. Якщо вважати його матеріальною точкою, то наближена відповідь становить 5 с. При використанні моделі матеріальної точки похибка дорівнює 10%.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Рух зі сталою за значенням і напрямком швидкістю називають рівномірним.
- ➔ Швидкістю за шляхом називають відношення пройденого шляху до затраченого на це часу (при рівномірному русі).
- ➔ Фізичний зміст швидкості – вона показує пройдений за одиницю часу шлях.
- ➔ Швидкість, шлях або час руху можна обчислити, користуючись формулою  $v = \frac{s}{t}$ .



### ВПРАВА 10

1. Які вимірювання потрібно зробити, щоб визначити на досліді швидкість велосипедиста?
2. Тіло рухається рівномірно зі швидкістю 360 км/год. Що це означає?
3. Який рух називають рівномірним?
4. За якою формулою обчислюють шлях тіла, якщо відома швидкість його рівномірного руху і затрачений час?
5. За якою формулою обчислюють час руху тіла, якщо відома його швидкість і пройдений шлях?
6. Шлях чи переміщення показує лічильник на спідометрі?
7. Як рухається автомобіль, якщо стрілка спідометра постійно пересувається по шкалі?
8. Яка швидкість автомобіля в м/с, якщо його швидкість у км/год становить: 18 км/год, 54 км/год, 72 км/год, 90 і 108 км/год?
9. За який час (у секундах) автомобіль, що рухається зі швидкістю 54 км/год, проїде відстань 300 м?
10. Яким транспортним засобом потрібно скористатися, щоб перегнати звук? Швидкість звуку становить приблизно 330 м/с.
11. Скільки часу (в секундах) потрібно потягу завдовжки  $l = 350$  м, що рухається зі швидкістю  $v = 54$  км/год, щоб проїхати міст завдовжки  $L = 100$  м?
12. Існує два рекорди швидкості їзди на велосипеді: 60 км/год і 268 км/год.  
а) Як таке може бути? б) Запишіть наведені швидкості у м/с.
- \* 13. Жук рухається по прямій, долаючи за кожну секунду один сантиметр. Чи можна назвати такий рух рівномірним?
14. Скільки метрів за секунду пролітає пасажирський лайнер, що рухається зі швидкістю 900 км/год?
15. Швидкість штучного супутника Землі – 8 км/с. а) Що означає це число? б) Виразіть швидкість супутника в км/год і порівняйте її зі швидкістю літака (800 км/год) та військового винищувача (2500 км/год).

## § 11. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

### РУХ І СПОКІЙ – ПОНЯТТЯ ВІДНОСНІ

Коли кажуть, що рух відносний, то мають на увазі, що **переміщення, швидкість і траєкторія тіла залежать від тіл відліку, відносно яких визначається рух.**

Мало сказати, що тіло рухається, – слід ще вказати, відносно якого тіла відліку відбувається цей рух. Залежно від того, де знаходиться спостерігач, ми отримаємо різні відповіді.

Літак-винишувач може дозаправитися в повітрі лише якщо його швидкість збігається за напрямком і дорівнює за значенням швидкості літака-заправника (мал. 11.1). Хоча літаки рухаються дуже швидко, один відносно одного вони знаходяться у стані спокою.



Мал. 11.1. Заправка в польоті



Мал. 11.2. Рух і спокій відносні

Іноді, коли ми сидимо в потязі, який ще не рушив (мал. 11.2), глянувши у вікно на сусідній потяг, можемо подумати, що вже поїхали. Але, подивившись у протилежне вікно, помічаємо, що вокзал на місці. Так рухалися ми чи ні? – таке запитання не має сенсу. Відносно вокзалу – не рухалися, а відносно сусіднього потягу – рухалися (як і він відносно вас).

У задачах «на відносність руху» потрібно вміти уявити себе на місці одного спостерігача або на місці іншого. Така манера думати схожа на роботу актора, який грає різні ролі у фільмах або виставах і повинен щоразу «вживатись» у чужий образ. У повсякденному житті також дуже важливо вміти уявити себе на місці іншої людини й проаналізувати хід її думок.

### ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ «НА ВІДНОСНІСТЬ»

#### ► ПРИКЛАД 11.1

Якщо стояти на ескалаторі (мал. 11.3), що рухається зі швидкістю 2 м/с, то ми будемо рухатися відносно стін разом із ескалатором зі швидкістю 2 м/с. Якщо ми йдемо в напрямку руху ескалатора зі швидкістю 0,5 м/с, то

рухаємося відносно стін уже зі швидкістю 2,5 м/с. Якщо піти в тому ж темпі проти руху ескалатора, то він повезе нас назад зі швидкістю 1,5 м/с.



Мал. 11.3. Рух по ескалатору

### ПРИКЛАД 11.2

Ви їдете автомобілем зі швидкістю 40 км/год, а вас наздоганяє інший автомобіль, швидкість якого – 60 км/год (мал. 11.4). Хоча швидкість автомобіля, що наздоганяє, відносно дороги достатньо велика, ви помічаєте, що зближення відбувається повільно. Швидкість автомобіля, що наздоганяє вас, з вашого погляду тільки 20 км/год. Позначимо швидкість другого автомобіля відносно першого  $v_{21} = 20$  км/год (читають «ве два-один»). Якби задній автомобіль мав таку ж швидкість, як ваш, він узагалі не міг би вас випередити.



Мал. 11.4. Під час обгону швидкість зближення цих автомобілів становить:  
 $v_{21} = 20$  км/год

### ПРИКЛАД 11.3

Розглянемо ситуацію, коли ви їдете автомобілем зі швидкістю 40 км/год, а другий автомобіль рухається вам назустріч (мал. 11.5). Тепер швидкість зближення велика:  $v_{21} = 100$  км/год. Чому так виходить?



Мал. 11.5. Під час руху назустріч швидкість зближення збільшується:  $v_{21} = 100$  км/год

а) Спочатку розглянемо рух із погляду спостерігача, який знаходиться на нерухомій дорозі. Він може міркувати так. За одну годину перший автомобіль проїде 40 км, а другий назустріч першому – 60 км. Таким чином, за одну годину вони зблизяться на 100 км. Отже, швидкість їх взаємного зближення становить 100 км/год.

б) А так міркували б ви, якби знаходилися в першому автомобілі. Рух відносний, тому можна вважати, що ваш автомобіль не рухається, а дорога разом із зустрічним автомобілем рухається до вас зі швидкістю 40 км/год. Зустрічний автомобіль, окрім того, рухається відносно дороги зі швидкістю 60 км/год у тому самому напрямку. Якщо до швидкості дороги додати швидкість другого автомобіля, отримаємо 100 км/год.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Переміщення, швидкість і траєкторія тіла залежать від тіл відліку, відносно яких визначається рух.
- ➔ Якщо одне тіло наздоганяє інше, то вони зближаються повільно.
- ➔ Якщо тіла рухаються назустріч, то вони зближаються швидко.



### ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

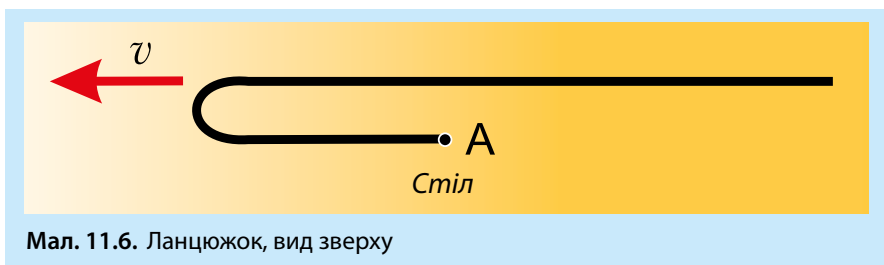
11.1. З якою швидкістю рухається Сонячна система відносно центру Галактики і з якою – разом із Галактикою?



### ВПРАВА 11

1. У чому полягає відносність руху?
2. Чи можна рухатися відносно одних тіл і перебувати в спокої відносно інших? Наведіть приклади.
3. Чому ми не відчуваємо руху Землі?
4. Чому Сонце рухається по небу протягом дня?
5. З якою швидкістю рухається пасажир, якщо він сидить за столиком у вагоні потяга?
6. Чому швидкість зустрічного автомобіля збільшується ніби стрибково у той момент, коли він проїжджає біля вашого автомобіля?
7. Чи залежить вигляд траєкторії тіла від вибору тіла відліку? Наведіть приклади.
8. Накресліть траєкторію вантажу, скинутого з літака, з погляду льотчика, який летить паралельним курсом з такою самою швидкістю, і з погляду спостерігача на землі.
9. З якою швидкістю потрібно рухатись ескалатором, щоб: **а)** залишатися нерухомим відносно стін; **б)** рухатися врівень із пасажиром зустрічного ескалатора?
10. Швидкість велосипедиста – 36 км/год, а швидкість зустрічного вітру – 4 м/с. Знайдіть швидкість вітру відносно велосипедиста (в м/с).
11. Швидкість ескалатора – 0,75 м/с. Знайдіть час, за який пасажир переміститься на 20 м відносно стін, якщо він іде в напрямку руху ескалатора зі швидкістю 0,25 м/с.
12. Колона військ під час походу розтягнулася на 400 м і рухається зі швидкістю 5 км/год. Із кінця колони до її початку посилають із дорученням велосипе-

- диста, швидкість якого – 25 км/год. Виконавши доручення, він одразу ж повертається назад. Скільки часу (у хв) було витрачено на поїздку?
13. Два потяги рухаються паралельними коліями назустріч один одному. Їхні швидкості становлять 72 км/год і 54 км/год відповідно. Пасажир, який перебуває в першому потязі, помітив, що другий потяг проїхав повз нього за 6 с. Яка довжина другого потяга?
  14. Вагон має ширину 2,4 м і рухається зі швидкістю 15 м/с. Його навиліт пробиває куля, що летіла перпендикулярно до руху вагона. Зміщення отворів у стінках дорівнює 6 см. Якою була швидкість кулі?
  15. Ескалатор метро піднімає пасажирів за 1 хв. Нерухомим ескалатором пасажир піднімається за 3 хв. Скільки часу підніматиметься пасажир, ідучи рухомим ескалатором?
  16. Ескалатор опускає пасажирів, який іде вниз по ньому, за 1 хв. Якщо пасажир ітиме вдвічі швидше, то він подолає цей шлях за 45 с. Скільки часу витратить пасажир, який стоїть на ескалаторі?
  - \* 17. Хлопчик біжить ескалатором. За перший раз він налічив 50 сходинок. За другий раз, рухаючись у тому ж напрямку з утричі більшою швидкістю, він налічив 75 сходинок. а) За чи проти руху ескалатора рухається хлопчик? б) Скільки сходинок налічить хлопчик на нерухомому ескалаторі?
  - \* 18. Трактор рухається зі швидкістю 3 м/с. Знайдіть швидкість точки А на верхній частині гусениці й точки В на нижній частині гусениці в певний момент часу відносно: а) землі; б) трактора.
  - \* 19. Уявіть, що ви зі швидкістю 10 см/с рухаєте на гладкому столі масивний ланцюжок завдовжки 50 см, тримаючи його за один із кінців (точка А на мал. 11.6), і в деякий момент часу зупинили руку. Якесь частина ланцюжка зупиниться, а інша (яка поступово вкорочується) – продовжуватиме свій рух повз точку А. а) Яка довжина ланцюжка зупиниться через 3 с? б) Через який час від моменту зупинки руки зупиниться увесь ланцюжок? Знехтуйте зменшенням швидкості ланцюжка внаслідок тертя.



Мал. 11.6. Ланцюжок, вид зверху

## § 12. ЗАКОН ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ

### ШВИДКІСТЬ РУХУ ВІДНОСНО РУХОМОЇ І НЕРУХОМОЇ СИСТЕМ ВІДЛІКУ

Проведемо уявний експеримент. Розглянемо випадок, коли ви пливете в моторному човні озером зі швидкістю 4 м/с. Уявімо, що іншим разом у тому ж човні ви пливете вниз за течією річки (*мал. 12.1*). Нехай швидкість течії становить 1 м/с (звісно, відносно берега). Пропливаючи повз дерево, ви вмикаєте секундомір. На якій відстані від дерева ви опинитеся через 10 с?



Мал. 12.1. Швидкість човна відносно плоту і берега різні

В озері ви пропливли б за цей час 40 м. У річці ж, навіть із вимкненим мотором, течія знесла б вас на 10 м. У результаті ви опиняєтеся на відстані 50 м від дерева: ви перемістилися на 40 м за рахунок роботи двигуна, і ще на 10 м вас знесла течія. Отже, швидкість вашого човна відносно берега дорівнює 5 м/с. **Щоб знайти швидкість човна відносно берега, потрібно до швидкості човна відносно води (тобто у стоячій воді) додати швидкість течії відносно берега.**

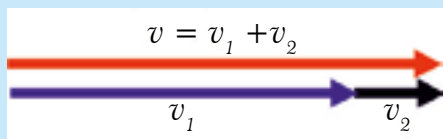
### ЗАКОН ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ

Якщо переміщення човна відносно води вниз за течією позначити  $\vec{s}_1$ , а переміщення разом із водою –  $\vec{s}_2$ , то загальне переміщення відносно берега становитиме  $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ . У цьому випадку  $\vec{v} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}$ , звідки отримуємо:

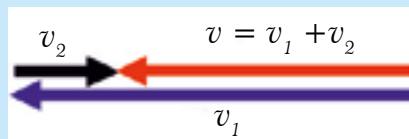
$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad (12.1)$$

Рівняння (12.1) називають **законом додавання швидкостей**. Фізичний зміст закону такий: швидкість човна (*мал. 12.2*) відносно берега (червона стрілка) дорівнює швидкості човна відносно води (синя стрілка), доданій до швидкості течії (переносна швидкість) відносно берега (чорна стрілка). У нашому прикладі

швидкість човна відносно води становить 4 м/с, переносна швидкість дорівнює 1 м/с, а швидкість човна відносно берега становить 5 м/с.



**Мал. 12.2.** При відносному русі швидкості додаються



**Мал. 12.3.** При русі проти течії вектори знову додаються

Подивимось, якою буде швидкість човна відносно берега, якщо човен пливе проти течії. За ті ж 10 с у стоячій воді ви пропливли б 40 м. Вода знесла ваш човен униз за течією на 10 м. Як наслідок ви змістилися відносно дерева лише на 30 м. Ваша швидкість відносно берега тепер складає 3 м/с, тобто  $4 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с} = 3 \text{ м/с}$ . Але векторні швидкості знову додаються (мал. 12.3): швидкість човна відносно берега (червона стрілка) дорівнює швидкості човна відносно води (відносна швидкість – синя стрілка) плюс (згідно з правилами додавання векторів) швидкість течії (переносна швидкість) відносно берега (чорна стрілка).

Обидва випадки ми розглядали з погляду спостерігача, який знаходиться на березі.

## ШВИДКІСТЬ РУХУ ЧОВНА ВІДНОСНО ВОДИ НЕ ЗАЛЕЖИТЬ ВІД НАПРЯМКУ РУХУ

Тепер уявімо собі, що кожного разу, коли наш човен пропливає повз дерево, там знаходиться ще й пліт. Пліт не має двигуна й рухається вниз за течією зі швидкістю течії. З'ясуємо, якою буде ваша швидкість відносно спостерігача, що знаходиться на плоту. У першому випадку, коли ви пливете вниз за течією, через 10 с ви опинитеся на відстані 50 м від дерева і 40 м від плоту, оскільки за ті самі 10 с течія знесла його на 10 м униз.

У другому випадку, рухаючись повз дерево угору проти течії, ви знову опинитеся на відстані 40 м від плоту, оскільки змістилися проти течії на 30 м відносно берега, а пліт течія знесла на 10 м униз.

Виявляється, що, рухаючись униз за течією чи вгору проти течії, за 10 с ви переміщаєтеся відносно плоту однаково. Це означає, що ваша швидкість відносно плоту одна й та сама, куди б ви не рухалися. У цьому немає нічого дивного. Адже для того, щоб рухатися, лопаті двигуна мусять відштовхуватися від води й рухати човен. Швидкість цього руху відносно води не залежить від того, чи рухається вода (як у річці), чи стоїть (як в озері).

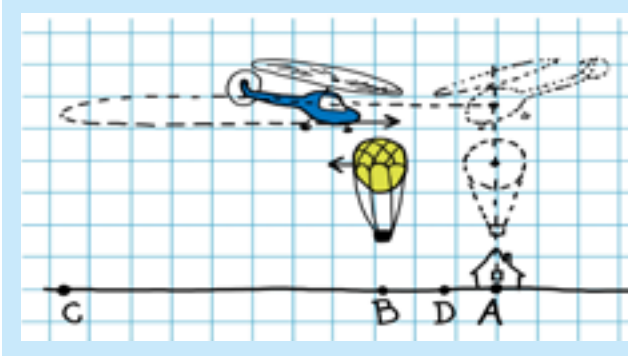
## РУХОМА Й НЕРУХОМА СИСТЕМИ ВІДЛІКУ РІВНОПРАВНІ

Рух човна з погляду спостерігача на березі та з погляду спостерігача на плоту виглядає по-різному. Але вони обидва по-своєму мають рацію. Щоправда,

при розрахунках може виявитися зручнішим спостерігати за човном із плоту, а не з берега, чи навпаки. Розв'язуючи задачі, ви навчитеся вибирати «вигідні» тіла відліку.

### ► ПРИКЛАД 12.1. «Гелікоптер»

Пролітаючи над пунктом А, пілот наздогнав повітряну кулю, яку зносило вітром по курсу гелікоптера (мал. 12.4). Через 0,5 год пілот повернув назад і згодом зустрів повітряну кулю на віддалі 30 км від пункту А. Якою була швидкість вітру?



Мал. 12.4. Відносно кулі гелікоптер рухається з однаковою швидкістю

**а) Розв'язання в системі відліку «земля».** Нехай точка С – місце розвертання гелікоптера через  $t_{AC} = 0,5 \text{ год}$  після зустрічі з повітряною кулю над пунктом А, а точка В – місце повторної зустрічі гелікоптера й кулі через час  $t_{CB}$  після розвертання гелікоптера в точці С. Нехай  $u$  – швидкість вітру,  $v$  – швидкість гелікоптера відносно повітря. Тоді  $v + u$  – швидкість гелікоптера відносно землі в напрямку АВС,  $v - u$  – швидкість гелікоптера відносно землі в напрямку СВ (проти вітру):

$$S_{AC} = (v + u) \cdot t_{AC}; \quad S_{CB} = (v - u) \cdot t_{CB}; \quad S_{AB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB}).$$

У той момент часу, коли гелікоптер був у точці С, куля знаходилася в деякій проміжній точці D. За той час, поки гелікоптер долетів із точки С у пункт В, куля перемістилася з D у В. Швидкість повітряної кулі дорівнює швидкості вітру  $u$ . Очевидно, що  $S_{AC} - S_{CB} = S_{AB}$ . Підставивши сюди вирази для  $S_{AC}$ ,  $S_{CB}$  та  $S_{AB}$ , отримаємо:  $(v + u) \cdot t_{AC} - (v - u) \cdot t_{CB} = u \cdot (t_{AC} + t_{CB})$ . Після нескладних перетворень знаходимо, що  $t_{AC} = t_{CB}$ . Тоді  $(t_{AC} + t_{CB}) = 1 \text{ год}$ , а швидкість вітру дорівнює  $u = 30 \text{ км/год}$ .

**Відповідь.** Швидкість вітру становить 30 км/год.

Співвідношення  $t_{AC} = t_{CB}$  видається досить дивним. Але його зміст стає зрозумілим, якщо розв'язати задачу інакше.

**б) Розв'язання з погляду тіла відліку «повітряна куля».** Відносно повітря куля не рухається. Швидкість гелікоптера відносно кулі одна й та сама в довільному напрямку (тобто дорівнює  $v$ ), тому час віддалення гелікоптера від кулі (0,5 год) дорівнює часу його наближення до неї. Весь час польоту кулі з А до В дорівнює 1 год, і розв'язок задачі очевидний.

Ця задача показує, наскільки зручним може бути вдалий вибір системи відліку.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- Векторна швидкість дорівнює відношенню переміщення до часу руху:

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

- Швидкість тіла відносно нерухомої системи відліку дорівнює сумі відносної та переносної швидкостей тіла:  $\vec{v}_{\text{нерух}} = \vec{v}_{\text{відн}} + \vec{v}_{\text{переносна}}.$



## ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

12.1. Сформулюйте критерій, згідно з яким можна вибрати «найкращу» систему відліку.



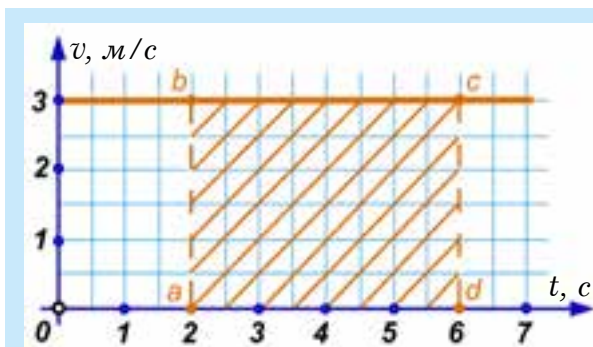
## ВПРАВА 12

1. Чим швидкість за переміщенням відрізняється від швидкості за шляхом?
  2. Куди напрямлена векторна швидкість?
  3. У чому полягає закон додавання швидкостей?
  4. Чому в прикладі 12.1. вигідніше міркувати з погляду спостерігачів, які знаходяться на повітряній кулі?
  5. Ви перебуваєте в човні, навколо вас вода, туман, берега не видно, до дна дістати неможливо. Як визначити – річка це чи озеро? *(Це дискусійна задача; не віртесь, але не існує методів визначення руху в цьому випадку!).*
  6. Яку форму мають хвилі, утворені кинутим у річку каменем, з погляду спостерігача, який знаходиться: **а)** на березі; **б)** на плоту?
  7. Вода несе човен поряд із плотом униз за течією. Що легше весляреві: відстати на 10 м від плоту чи на стільки ж перегнати його?
  8. Рухаючись катером униз за течією річки, ви загубили рятувальний круг. Через 5 хв опісля, розвернувши катер, ви пливете назад. Через який час після розвороту ви підберете круг?
  9. Між двома пунктами, розташованими на березі річки на відстані 100 км один від одного, курсує катер. Пливучи за течією, катер витрачає 4 год, а проти течії – 10 год. Визначте: **а)** швидкість течії; **б)** швидкість катера відносно води.
  10. Моторний човен проходить відстань між пунктами А і В за 3 год, а пліт – за 12 год. Скільки часу витратить човен на зворотний шлях?
- \* 11. Повз пристань пропливає пліт. У цей момент до села, що знаходиться на відстані 15 км униз за течією від пристані, вирушає моторний човен. Він приходить до села через 45 хв і, повертаючись назад, зустрічає пліт на відстані 9 км від села. Знайдіть: **а)** швидкість течії; **б)** швидкість човна відносно води. Вважайте, що човен у селі не затримався.
- \* 12. Моторний човен проходить одну й ту саму відстань туди й назад уздовж берега річки та озером. У якому з випадків він витратить для проходження всього шляху більше часу?

## § 13. ГРАФІКИ ШЛЯХУ І ШВИДКОСТІ

### ГРАФІК ШВИДКОСТІ

У фізиці й математиці використовують три способи подання інформації про зв'язок між різними величинами: *а)* у вигляді формули, наприклад,  $s = v \cdot t$ ; *б)* у вигляді таблиці; *в)* у вигляді графіка (малюнка).



**Мал. 13.1.** Графік швидкості тіла, що рівномірно рухається зі швидкістю 3 м/с. Шлях, пройдений тілом з 2-ї по 6-ту секунди, чисельно дорівнює площі заштрихованого прямокутника *abcd*

**Графік швидкості** відображає залежність швидкості від часу  $v(t)$  за допомогою двох взаємно перпендикулярних осей. Уздовж горизонтальної осі відкладемо час, а вздовж вертикальної – швидкість (мал. 13.1). Треба завчасно продумати масштаб, щоб рисунок не був надто великим або надто малим. Біля кінця осі вказують літеру, яка є позначенням величини, що на ній відкладається. Біля літери зазначають одиницю вимірювання цієї величини. Наприклад, біля осі часу вказують  $t, c$ , а біля осі швидкості –  $v(t), м/с$ . Вибирають масштаб і наносять поділki на кожен вісь.

Розглянемо рівномірний рух тіла зі швидкістю 3 м/с, тобто числове значення швидкості буде сталим упродовж усього часу руху. Скорочено це записують так:  $v = const$  (константа, тобто стала величина). У нашому прикладі вона дорівнює трьом:  $v = 3 м/с$ . Ви вже знаєте, що інформацію про залежність однієї величини від іншої можна подавати у вигляді таблиці (масиви, як кажуть в інформатиці):

$t, c$	0	1	2	3	4	5	6	7
$v, м/с$	3	3	3	3	3	3	3	3

Із таблиці видно, що в усі вказані моменти часу швидкість дорівнює 3 м/с. Нехай масштаб осі часу 2 кл. = 1 с, а осі швидкості – 2 кл. = 1 м/с. Графік залежності швидкості від часу (скорочено кажуть *графік швидкості*) наведено на малюнку 13.1.

За допомогою графіка швидкості можна знаходити шлях, який тіло проходить за певний інтервал часу. Для цього треба зіставити два факти: з одного боку, шлях можна знайти, помноживши швидкість на час, а з іншого – добуток

швидкості на час, як видно з малюнка, – це площа прямокутника зі сторонами  $t$  і  $v$ .

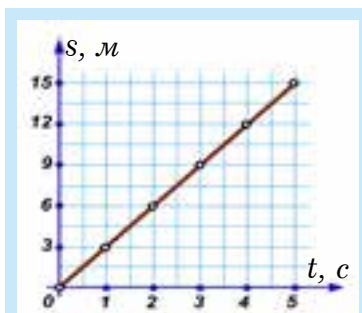
Наприклад, рухаючись протягом чотирьох секунд, з другої до шостої тіло пройшло  $3 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ м}$ . Це площа прямокутника  $abcd$ , довжина якого дорівнює  $4 \text{ с}$  (відрізок  $ad$  вздовж осі часу) і висота  $3 \text{ м/с}$  (відрізок  $ab$  вздовж вертикалі). Площа, щоправда, дещо незвична, оскільки вимірюється не в  $\text{м}^2$ , а в  $\text{м}$ . Отже, **площа під графіком швидкості чисельно дорівнює пройденому шляху за певний час.**

## ГРАФІК ШЛЯХУ

Графік шляху  $s(t)$  можна зобразити, використовуючи формулу  $s = v \cdot t$ , тобто в нашому випадку, коли швидкість становить  $3 \text{ м/с}$ :  $s = 3 \cdot t$ . Побудуємо таблицю:

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5
$s, \text{м}$	0	3	6	9	12	15

Уздовж горизонтальної осі знову відкладають час ( $t, \text{с}$ ), а вздовж вертикальної – шлях. Біля осі шляху пишемо:  $s, \text{м}$  (мал. 13.2).



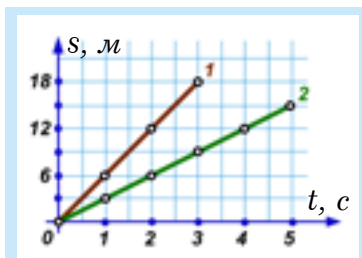
Мал. 13.2. Графік шляху. Решта точок, крім шести, вказаних у таблиці, поставлені з припущенням, що рух упродовж всього часу був рівномірним

## ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ НА ГРАФІКУ ШЛЯХУ

Зобразимо тепер на одному малюнку два графіки, які відповідатимуть рухам зі швидкостями  $3 \text{ м/с}$  (пряма 2) і  $6 \text{ м/с}$  (пряма 1) (мал. 13.3). Видно, що чим більша швидкість тіла, тим крутіша лінія точок графіка.

Існує й обернена задача: маючи графік руху, потрібно визначити швидкість і записати рівняння шляху (мал. 13.3). Розглянемо пряму 2. Від початку руху і до моменту часу  $t = 2 \text{ с}$  тіло пройшло шлях  $s = 6 \text{ м}$ . Отже, його

швидкість:  $v = \frac{6 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Вибір іншого інтервалу часу нічого не змінить, наприклад, на момент  $t = 4 \text{ с}$  шлях, пройдений тілом від початку руху, становить  $s = 12 \text{ м}$ . Відношення знову дорівнює  $3 \text{ м/с}$ . Але так і повинно бути, оскільки тіло рухається зі сталою швидкістю. Тому найпростіше було б вибрати інтервал часу в  $1 \text{ с}$ , адже шлях, пройдений тілом за одну секунду, чисельно дорівнює швидкості. Шлях, пройдений першим тілом



Мал. 13.3. Графік шляху у випадку різних швидкостей

(графік 1) за 1 с, дорівнює 6 м, тобто швидкість першого тіла дорівнює 6 м/с. Відповідні залежності шляху від часу для цих двох тіл будуть:

$$s_1 = 6 \cdot t \text{ і } s_2 = 3 \cdot t.$$

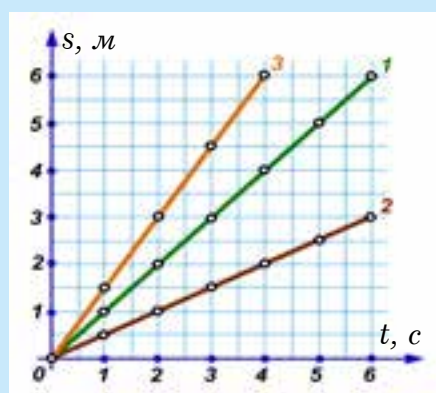
## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ У фізиці використовують три способи подачі інформації: графічний, аналітичний (формулами) і таблицею (масивом). Третій спосіб більш пристосований для розрахунків на комп'ютері.
- ➔ Шлях чисельно дорівнює площі під графіком швидкості.
- ➔ Що крутіший графік  $s(t)$ , то більша швидкість.

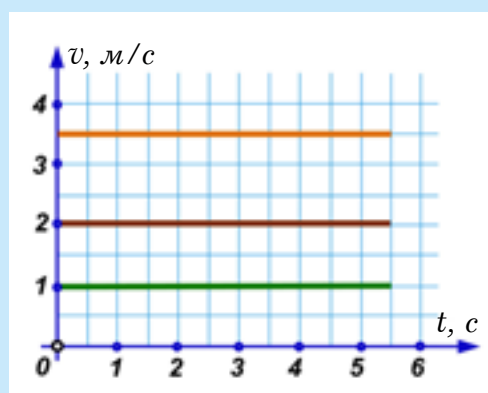


### ВПРАВА 13

1. Як визначають шлях на графіку швидкості?
2. Чи можна записати формулу для залежності шляху від часу, маючи графік  $s(t)$ ?
3. Чи зміниться кут нахилу графіку шляху, якщо масштаб на осях зменшити вдвічі?
4. Чому графік шляху рівномірного прямолінійного руху зображається прямою?
5. Яке з тіл (мал. 13.4) має найбільшу швидкість?
6. Як можна визначити шлях за графіком швидкості?
7. Чим відрізняються графіки шляху для тіл, що рухаються з різними швидкостями? Що в них спільного?
8. За графіком (мал. 13.1) знайдіть шлях, пройдений тілом від початку першої до кінця третьої секунди.
9. Який шлях пройшло тіло (мал. 13.2) за: **а)** дві секунди; **б)** чотири секунди? **в)** Укажіть, де починається третя секунда руху і де вона закінчується.
10. Зобразіть на графіках швидкості та шляху рух зі швидкістю: **а)** 4 м/с; **б)** 2 м/с.
11. Запишіть формулу залежності шляху від часу для рухів, зображених на мал. 13.3.
12. Розгляньте мал. 13.4. **а)** знайдіть швидкості тіл за графіками; **б)** запишіть відповідні рівняння шляху й швидкості; **в)** побудуйте графіки швидкості цих тіл.
13. Побудуйте графіки шляху й швидкості для тіл, рухи яких задані рівняннями:  $s_1 = 5 \cdot t$  і  $s_2 = 6 \cdot t$ . Чому дорівнюють швидкості цих тіл?



Мал. 13.4



Мал. 13.5

14. За графіками (мал. 13.5) визначте: **а)** швидкості тіл; **б)** шляхи, пройдені ними за перші 5 с. Запишіть рівняння шляху й побудуйте відповідні графіки для усіх трьох рухів.

\* 15. Накресліть графік шляху для руху першого тіла відносно другого (мал. 13.3).



### ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

- 13.1. Накресліть графіки швидкості та шляху, коли швидкість тіла рівномірно збільшується або зменшується.

## § 14. НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

Рух тіл є рівномірно прямолінійним тільки в тому випадку, коли тіла рухаються, відповідно, прямолінійно, зі сталою швидкістю і в одному напрямку, а це трапляється рідко. Переважно швидкість руху з різних причин змінюється. Рух, при якому швидкість тіла змінюється, називають **нерівномірним**.

### СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ РУХУ

Для опису нерівномірного руху використовують поняття *середньої швидкості*  $v_{cp}$ . **Щоб знайти середню шляхову швидкість за даний інтервал часу ( $t$ ), треба весь пройдений тілом шлях ( $s$ ) розділити на весь затрачений час (включно з часом зупинок).**

Формула для розрахунку середньої швидкості  $v_{cp}$  та сама, що й для рівномірного руху:

$$v_{cp} = \frac{s}{t}, \quad (14.1)$$

але зміст величин  $s$  і  $t$  інший:  $s$  – це весь пройдений тілом шлях, а  $t$  – увесь затрачений на це час.

Середню швидкість руху необхідно знати, якщо ми хочемо оцінити загальний час, необхідний для подорожі. **Якби тіло рухалося рівномірно зі швидкістю, яка дорівнює середній, то весь шлях воно пройшло б за весь час нерівномірного руху.**

- \* Якщо у формулу (14.1) замість пройденого шляху « $s$ » підставити вектор переміщення  $\vec{s}$ , то отримаємо **середню швидкість переміщення**:

$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}$ . Вона за величиною завжди менша, ніж середня швидкість пройденого шляху, крім випадку, коли рух відбувається по прямій і постійно напрямлений в один і той самий бік. Тоді ці швидкості рівні.

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

## ► ПРИКЛАД 14.1. «Машиніст»

Уявіть себе машиністом, який веде 12-вагонний потяг із пункту **А** в пункт **В** із середньою швидкістю  $v_{cp} = 60 \text{ км/год}$ . Потяг робить 8 зупинок, на які витрачає загалом  $t_1 = 40 \text{ хв}$ . Відстань між пунктами –  $s = 240 \text{ км}$ .

**а)** Скільки часу  $t$  потяг перебуватиме в русі? **б)** За який час  $t_2$  пройдено перші 120 км? **в)** Скільки років машиністові?

**Розв'язання.**

**а)** Щоб знайти повний час поїздки, потрібно весь пройдений шлях – 240 км – розділити на середню швидкість – 60 км/год. Отже, повний час маршруту становить 4 год. Від цього значення треба відняти час, що був витрачений на зупинки. У результаті отримаємо 3 год і 20 хв.

**б)** Інформації, наведеної в умові, недостатньо, щоб відповісти на це запитання. Ми не можемо дізнатися, скільки часу займе половина дороги, оскільки середня швидкість на цьому відрізку може бути іншою, і вона нам не відома. Негативна відповідь у фізиці, якщо вона достатньо аргументована, також цінна.

**в)** Скільки років машиністові?

**Підказка.** Третє запитання і складніше, і простіше за всі інші. Воно не потребує числового розрахунку, а лише вашої уважності.

## ► ПРИКЛАД 14.2. «Равлик на стовпі»

Равлик починає повзти вгору по стовпу, висота якого 6 м. За 12 денних годин він рівномірно просувається вгору на 2 м, а вночі, під час сну, рівномірно з'їжджає вниз на 1 м.

**а)** За який *найменший* час равлик досягне вершини стовпа?

**б)** Знайдіть переміщення й шлях равлика за 4 доби, швидкість долання шляху та швидкість переміщення.

**Розв'язання.**

**а)** Швидка й неправильна відповідь – за 6 діб. Насправді равлик досягає вершини швидше. За 4 доби він опиниться на висоті 4 м. Цієї висоти він досягне на світанку п'ятого дня після нічного відпочинку. За п'ятий день він підніметься на 2 м і, отже, дістанеться вершини. Усього йому потрібно для подолання цього шляху  $4 \cdot 24 + 12 = 108 \text{ год}$ .

**б)** За добу равлик переміщується на 2 м вгору й на 1 м униз, тобто його загальний шлях становить 3 м. Увесь шлях за 4 доби складе  $s = 12 \text{ м}$ , а переміщення



становитиме лише 4 м. Вектор переміщення, спрямований угору, сполучає початок стовпа з точкою на висоті 4 м. Середня швидкість проходження великим шляхом становить 3 м за добу (2 м вгору й 1 м униз:  $v_{cp} = 3 \text{ м/доба}$ ). Середня швидкість переміщення за добу дорівнює 1 м/доба.

### ► ПРИКЛАД 14.3. «Маршрутний автобус»

Між двома містами курсує автобус. Із міста **А** в місто **В** він їде зі сталою швидкістю 40 км/год, а назад повертається зі сталою швидкістю 60 км/год. Вважаючи час розвороту дуже малим, знайдіть середню швидкість руху на всьому шляху **А–В–А**.

**Підказка.** Відповідь 50 км/год неправильна. Середня швидкість визначається як відношення всього пройденого шляху до повного часу руху. Складність цієї задачі полягає ще у тому, що в умові не зазначені ні часу руху, ні відстань між містами. Будьте сміливішими і введіть їх у розв'язок.

**Розв'язання.** Позначимо відстань між містами **А** та **В** літерою « $s$ ». Швидкість руху з **А** до **В** позначимо  $v_1$ , час –  $t_1$ , а швидкість та час під час повернення із **В** до **А** – через  $v_2$  і  $t_2$  відповідно. Згідно з умовою:

$$v_{cp} = \frac{s + s}{t_1 + t_2} \quad (14.2)$$

Підставимо час  $t_1$  і  $t_2$  у формулу (14.2):

$$v_{cp} = \frac{2s}{\frac{s}{v_1} + \frac{s}{v_2}} = \frac{2s}{\frac{s v_1 + s v_2}{v_1 v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/год}.$$

**Відповідь.** Середня швидкість автобуса на всьому маршруті становить 48 км/год.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Рух зі змінною швидкістю називають нерівномірним.
- ➔ Середньою швидкістю  $v_{cp}$  за деякий час називають відношення усього пройденого шляху до всього затраченого часу  $t$  (включно з зупинками).
- ➔ Якщо рухатися рівномірно з середньою швидкістю, то за весь час руху буде пройдено весь шлях.

## НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ

### ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

Визначте середню швидкість падіння повітряної кульки. Опишіть:

1. Які прилади ви використали?
2. За якою формулою обчислили середню швидкість падіння?

3. Запишіть значення середньої швидкості кульки.
4. Поясніть, чому рух кульки не є рівномірним.
5. Назвіть чинники, які суттєво вплинули на точність визначення швидкості.



#### ВПРАВА 14

1. Чим середня швидкість при нерівномірному русі відрізняється від швидкості рівномірного прямолінійного руху?
2. Чому рівномірний рух простіше описувати, ніж нерівномірний?
3. Чому дорівнює середня швидкість руху при рівномірному русі?
4. Автомобіль їхав 2 години зі швидкістю 60 км/год, потім зробив зупинку на 0,5 год і продовжив рух зі швидкістю 80 км/год протягом 1,5 год. Якою була середня швидкість автомобіля протягом усього шляху?
5. Туристи пройшли рівниною відстань 5 км за 1,5 год, потім зупинилися на відпочинок на 0,5 год і продовжили рух у гори, пройшовши ще 3 км за 2 год. З якою середньою швидкістю рухалися туристи протягом усього маршруту?
6. Чому не можна сказати нічого певного про швидкість і шлях тіла при нерівномірному русі за довільний інтервал часу, навіть якщо відомі середня швидкість і повний час руху?
7. Побудуйте приблизні графіки швидкості та шляху тіла (без чисел і масштабу), яке: **а)** збільшує швидкість; **б)** зменшує швидкість; **в)** спочатку збільшує, а потім зменшує свою швидкість.
8. Ви поїздили на велосипеді (без трюків!) і поставили його на місце. Визначте: **а)** Чому дорівнює остаточне переміщення? **б)** Яке колесо велосипеда пройшло більший шлях – переднє чи заднє? **Підказка.** Поспостерігайте за траєкторіями переднього і заднього коліс (це легко зробити, намочивши їх) і ви все зрозумієте.
- \* 9. Людина, яка знаходиться на відстані 20 м від паркана, починає рівномірно наблизитися до нього зі швидкістю 1 м/с. Одночасно з людиною до паркана біжить собака зі швидкістю 2 м/с. Собака добігає до паркана й повертається назад до людини, і так декілька разів. Який шлях пробіжить собака, поки людина дійде до паркана?
- \* 10. Перша машина їхала половину всього часу руху зі швидкістю 40 км/год, а решту часу – зі швидкістю 60 км/год. Друга машина рухалася стільки ж часу, як і перша, але зі сталою швидкістю 50 км/год. Яка з машин проїхала більшу відстань?
- \* 11. Автомобіль проїхав першу половину шляху зі швидкістю 40 км/год, а другу – зі швидкістю 60 км/год. Автобус увесь час їхав зі швидкістю 50 км/год. Яка з машин витратила на всю дорогу менше часу?
- \* 12. Доведіть за допомогою графіка швидкості, що при нерівномірному русі середня швидкість менша за найбільше значення швидкості на даному проміжку часу.
- \* 13. Поясніть без обчислень, чому в прикладі 14.3 середня швидкість менша за 50 км/год.

## § 15. РІВНОМІРНИЙ РУХ ПО КОЛУ

Обертання штучного супутника по коловій орбіті навколо Землі можна розглядати, як обертання матеріальної точки. Обертання стрілок годинника (мал. 15.1) і колеса велосипеда (мал. 15.2) можна розглядати як обертання абсолютно твердого тіла навколо осі. Багато деталей машин та механізмів здійснюють обертальний рух, бо його дуже просто реалізувати.

Тіло може обертатися навколо осі, яка лежить поза його межами (наприклад, обруч), або навколо кількох осей: наша планета Земля обертається одночасно навколо власної осі й навколо Сонця.

### ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ

Розглянемо **рівномірне обертання тіла**, коли кожен оберт здійснюється за один і той самий час. **Час, упродовж якого тіло здійснює один оберт, називають періодом обертання** й позначають літерою  $T$ . Період вимірюють в одиницях часу: секундах, хвилинах, годинах, добах, місяцях, роках. Наприклад, період обертання Землі навколо власної осі дорівнює одній добі, тоді як період обертання секундної стрілки годинника становить 60 с (мал. 15.1) або 1 хв. Якщо за час  $t$  тіло зробило  $N$  обертів, то його період обертання  $T$  визначається як:

$$T = \frac{t}{N} \quad (15.1)$$

### КОЖНА ТОЧКА ТІЛА, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ НАВКОЛО НЕРУХОМОЇ ОСІ, ОПИСУЄ КОЛО

Довжина траєкторії, що її проходить точка за один оберт, – це довжина кола (мал. 15.3). Відношення довжини кола  $l$  до його діаметра  $d$  є сталим числом, тобто не залежить від діаметра.

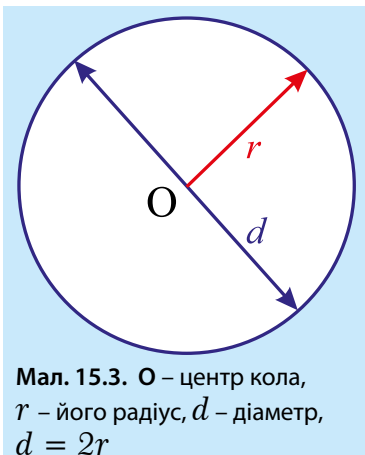
Відношення  $\frac{l}{d}$  позначають грецькою літерою  $\pi$  (читається «пі»):



Мал. 15.1. Різні стрілки обертаються з різним періодом



Мал. 15.2. Колесо велосипеда обертається навколо осі й одночасно рухається вперед



Мал. 15.3.  $O$  – центр кола,  $r$  – його радіус,  $d$  – діаметр,  $d = 2r$

$$\pi = \frac{l}{d} \approx 3,14 \quad (15.2)$$

Послугуючись визначенням числа  $\pi$ , можна записати формулу для обчислення довжини кола, описаного точкою:

$$l = \pi \cdot d \quad (15.3)$$

Оскільки  $d = 2r$ , то довжину кола можна виразити через радіус:

$$l = 2\pi \cdot r \quad (15.4)$$

## ШВИДКІСТЬ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПІД ЧАС РУХУ ПО КОЛУ

Швидкість матеріальної точки при рівномірному русі по колу (її ще називають лінійною швидкістю) можна обчислити, якщо поділити шлях, пройдений точкою за період (довжина кола), на відповідний час руху (період):

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (15.5)$$

### ▶ ПРИКЛАД 15.1

Визначте лінійну швидкість точок екватора при обертанні Землі навколо своєї осі. Радіус земної кулі  $R = 6\,400$  км, період обертання – 24 год.

**Дано:**

$$R = 6\,400 \text{ км}$$

$$T = 24 \text{ год}$$

$$v = ?$$

**Розв'язання:**

За формулою  $v = \frac{2\pi R}{T}$ , підставивши в неї числові значення, отримаємо:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6\,400 \text{ км}}{24 \text{ год}} = 1675 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

**Відповідь:** Швидкість руху точок екватора становить 1675 км/год. Зазначимо, що це вдвічі більше, ніж швидкість авіалайнера.

## ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ

Кількість обертів за одиницю часу називають обертовою частотою і позначають літерою « $n$ ». Найчастіше частоту обертання вимірюють в обертах за секунду чи в обертах за хвилину. Якщо за час  $t$  тіло зробило  $N$  обертів, то частота дорівнює:

$$n = \frac{N}{t} \quad (15.6)$$

Порівнявши формули (15.1) і (15.6), бачимо, що частота й період – взаємно обернені величини:

$$T = \frac{1}{n}, \quad n = \frac{1}{T} \quad (15.7)$$

▶ **ПРИКЛАД 15.2**

За 5 с колесо велосипеда радіусом 50 см зробило 20 обертів. Чому дорівнюють його: **а)** період обертання; **б)** частота обертання; **в)** швидкість точок обода?

**Дано:**

$$t = 5 \text{ с}$$

$$R = 50 \text{ см}$$

$$N = 20$$

$$v = ?$$

**Розв'язання:**

**а)** Згідно з формулою  $T = \frac{t}{N}$ ,  $T = 5 \text{ с} : 20 = 0,25 \text{ с}$ .

**б)** Формула  $n = \frac{N}{t}$  дає:  $n = 20 : 5 \text{ с} = 4 \text{ (1/с)}$ .

Читають: 4 оберти за секунду. Слово «оберти» у формулах не пишуть – про нього потрібно пам'ятати

**в)** Використовуючи разом формули

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ та } n = \frac{1}{T}, \text{ отримуємо:}$$

$$v = 2\pi R \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 4 \text{ (1/с)} = 12,56 \text{ м/с} \approx 12,6 \text{ м/с}$$

**Відповідь:**

**а)**  $T = 0,25 \text{ с}$ ; **б)**  $n = 4 \text{ (1/с)}$ ;

**в)**  $v = 12,56 \text{ м/с} \approx 12,6 \text{ м/с}$ .



## ЦЕ ЦІКАВО

Вал автомобільного двигуна може обертатися з частотою 500 – 5000 обертів за хвилину залежно від того, як сильно водій тисне на педаль акселератора («педаль газу»). В автомобілі є прилад, що вимірює частоту, – тахометр.

Вал турбіни реактивного двигуна робить 30 000 обертів за хвилину, центрифуга пральної машини – декілька сот обертів за хвилину, а ультрацентрифуга в біологічних лабораторіях – до півмільйона обертів за хвилину.



**Мал. 15.4.** Вал турбіни реактивного двигуна робить 30 000 обертів за хвилину

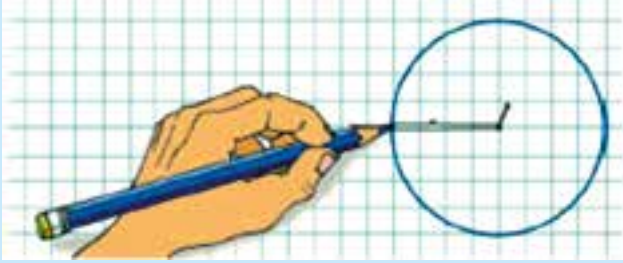
## КОЛО ТА ЕЛІПС

**Коло** – це плоска замкнена крива, усі точки якої рівновіддалені від деякої заданої точки, що називається *центром* кола. Відстань від будь-якої точки кола до центру називають радіусом кола ( $r$ ). Відрізок, що сполучає дві точки на колі й проходить через його центр, називається *діаметром* ( $d$ ). Коло можна намалювати циркулем.



## ДОСЛІД 15.1

Інший спосіб намалювати коло: увіткнувши в плоску поверхню шпильку, накидаєте на неї петлю (мал. 15.5) і, натягуючи її загостреним кінчиком олівця, проводите ним по поверхні. Центр кола можна назвати його фокусом, а коло – однофокусною фігурою.



Мал. 15.5. Коло можна розглядати як однофокусну фігуру



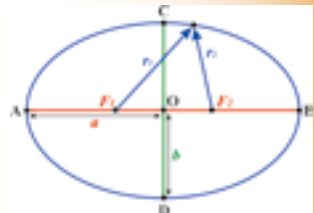
## З ІСТОРІЇ НАУКИ

## ЧИ МОЖНА В ШКІЛЬНОМУ ВІЦІ ЗРОБИТИ ВІДКРИТТЯ?

Йтиметься про англійського фізика Джеймса Кларка Максвелла, який 150 років тому відкрив радіохвилі.

Милуючись якимось в музеї формою овальних ваз, що збереглися від древніх етрусків, чотирнадцятилітній Максвелл замислився над тим, чи не можна намалювати еліпс так само просто, як і коло. І ось що він придумав. Якщо, як у досліді 15.1, петлю накинута на дві голки, увіткнуті в папір на деякій відстані одна від одної, а довжину нитки зробити трохи більшою, ніж подвоєна відстань між голками, і, натягуючи кінцем олівця нитку, провести замкнену криву, то отримаємо двофокусну фігуру – еліпс (мал. 15.6). Точки, де знаходяться голки ( $F_1$  та  $F_2$ ), і є фокусами еліпса. Сума відстаней  $r_1 + r_2$  від довільної точки еліпса до фокусів однакова для всіх точок даного еліпса.

Еліпс має дві взаємно перпендикулярні осі – малу і велику. Точка  $O$  – центр еліпса – лежить на перетині його осей. Велика вісь еліпса проходить через обидва фокуси, а відрізок  $OB$  (або  $OA$ ) називають *великою піввіссю* еліпса. Орбіти планет, супутників планет і більшості штучних супутників Землі – еліпси.



Мал. 15.6.  $a$  – велика піввісь,  $b$  – мала піввісь еліпса

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Час, за який тіло здійснює один оберт, називають періодом обертання:

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

- ➔ Кількість обертів за одиницю часу називають частотою обертання:

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

- ➔ Частота й період – взаємно обернені величини:  $T = \frac{1}{n}$ ,  $n = \frac{1}{T}$ .

- ➔ Швидкість матеріальної точки при рівномірному русі по колу обчислюється за формулою:  $v = \frac{2\pi r}{T}$ .



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

15.1. Як дослідно визначити частоту обертання дзиги (мал. 15.7)?

★ 15.2. Чому дзига не падає, коли обертається?



Мал. 15.7. Чому дзига не падає, коли обертається?



### ВПРАВА 15

1. Що називають: **а)** періодом обертання; **б)** частотою обертання; **в)** рівномірним обертанням?
2. Від чого залежить швидкість обертання матеріальної точки?
3. Як називають прилад, що вимірює частоту обертання?
4. Назвіть властивості кола.
5. Опишіть два способи побудови кола.
6. Чому дорівнює відношення довжини кола до його радіуса?
7. Як можна обчислити частоту обертання, знаючи період?
8. Знайдіть довжину екватора Землі, якщо її радіус становить 6400 км.
9. Довжина кола дорівнює 62,8 см. Який радіус кола?
10. Вал двигуна робить 2400 обертів за хвилину. Визначте: **а)** яка частота (в обертах за хвилину) обертання вала? **б)** Яка швидкість точки (в м/с), віддаленої від осі обертання на 20 см?

11. Штучний супутник Землі рухається по коловій орбіті на відстані 600 км від поверхні планети зі швидкістю 7,9 км/с. Який період (у хв) обертання супутника?
12. Мотоцикліст рухається по колу радіусом 50 м зі швидкістю 90 км/год. Який час йому потрібен на проходження одного кола?
13. Хлопчик обертає каштан на нитці довжиною 50 см, роблячи 2 оберти за секунду. Визначте: *а)* який період обертання каштана? *б)* Яку швидкість має каштан?
14. Чому дорівнює період обертання годинної стрілки годинника?
15. За якої умови еліпс перетвориться на коло?
16. Паралелі на глобусі є колами (мал. 15.8). Де знаходяться центри цих кіл і в яких межах змінюється їх радіус?
17. Паралелі й меридіани є колами. Чим вони відрізняються?
18. Маленьке зубчасте коліщатко обертається проти годинникової стрілки з частотою 10 обертів за секунду (мал. 15.9). Визначте: *а)* у який бік і з якою частотою обертається велике коліщатко? *б)* Який період обертання коліщаток?
19. Крайнє ліве коліщатко (мал. 15.10) обертається за годинниковою стрілкою. Визначте: *а)* у який бік обертається крайнє праве коліщатко? *б)* Порівняйте частоту обертання крайніх коліщаток.
- \* 20. Припустимо, що Земля є ідеальною кулею, радіус якої 6400 км. Охопимо екватор нерозтяжною ниткою так, щоб вона прилягала до поверхні в усіх точках. Тепер збільшимо довжину нитки на 1 м. Між ниткою й екватором утвориться проміжок. Припустимо, що він скрізь буде однаковим. *а)* Чи зможе в нього проскочити миша? *б)* Яким буде результат, якщо ми повторимо цей дослід із м'ячем?
- \* 21. Ведуча зубчата передача велосипеда (мал. 15.11), яка зв'язана з педалями, утричі більша за зубчатку, зв'язану з колесом. Радіус колеса – 40 см, а спортсмен робить один оберт педалями за одну секунду. Визначте: *а)* яка частота обертання ведучого колеса. *б)* З якою швидкістю (у км/год) рухається велосипедист.
- \* 22. Накресліть еліпс із півосями 6 і 4 см.



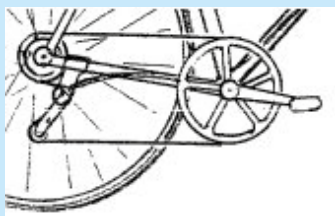
Мал. 15.8



Мал. 15.9



Мал. 15.10



Мал. 15.11

## § 16. РУХ ПЛАНЕТ І МІСЯЦЯ

Сонячна система складається з Сонця і восьми планет (мал. 16.1), які обертаються навколо нього. Планети поділяються на дві групи: планети земної групи і планети-гіганти. Планети земної групи – Меркурій, Венера, Земля, Марс, – мають тверду оболонку й складаються переважно з важких елементів. Зовнішні планети – Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, – складаються з газів, переважно водню і гелію. Їх ще називають газовими гігантами за величезні розміри. Внутрішні й зовнішні планети розділені поясом астероїдів.



**Мал. 16.1.** Сонце – Меркурій – Венера – Земля – Марс. Пояс астероїдів.  
Юпітер – Сатурн – Уран – Нептун – газові гіганти

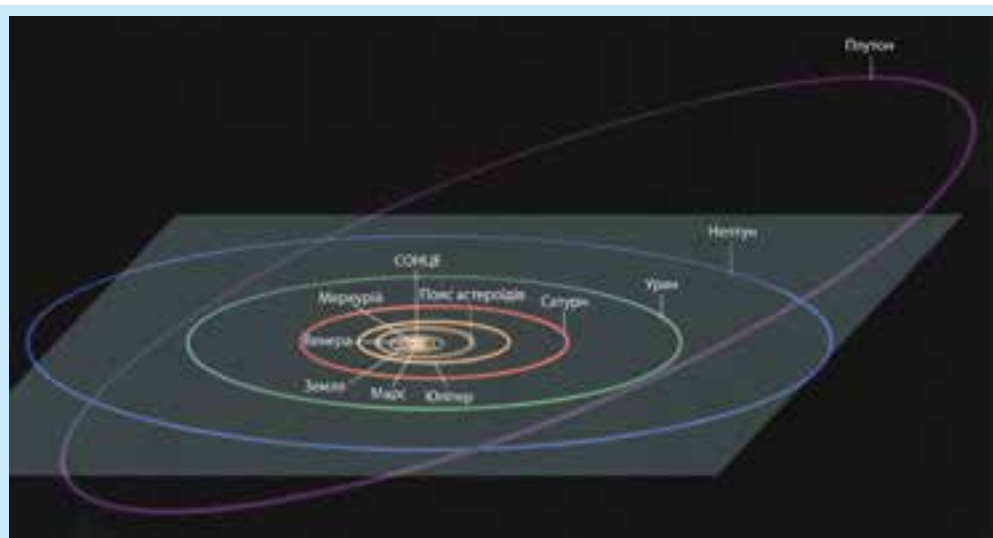
### СКЛАД СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

До 2006 року до складу Сонячної системи входила ще одна планета – Плутон. Але через те, що космічні апарати відкрили за Плутоном ще декілька небесних тіл приблизно таких самих розмірів, було вирішено обмежити число планет до восьми. Окрім того, Плутон має витягнуту орбіту, яка сильно нахилена до площини обертання інших планет.

Упродовж тисячоліть астрономи спостерігали за досить складним рухом Сонця, Місяця та планет на фоні зоряного неба і вважали, що всі вони рухаються навколо Землі. У 1543 році польський астроном Микола Копернік запропонував вибрати за тіло відліку Сонце з огляду на значно простіший спосіб описання руху планет. Згідно з геліоцентричною системою Коперніка, Земля та інші планети обертаються навколо Сонця. Траєкторія кожної з планет Сонячної системи є еліпсом, а Сонце знаходиться в одному з фокусів цього еліпса.

## РУХ ПЛАНЕТ НАВКОЛО СОНЦЯ

Орбіти більшості планет обертаються в один і той самий бік і лежать майже в одній площині, яка називається площиною екліптики (мал. 16.2). Сонце теж лежить у цій площині й обертається навколо власної осі в тому ж напрямку, що й планети. Площина орбіти Плутона нахилена до площини екліптики під кутом  $17^\circ$ .



**Мал. 16.2.** Орбіти планет. Площина екліптики виділена. Орбіта Плутона явно виділяється нахилом і витягнутістю

Проте орбіти планет, окрім Плутона, настільки мало відрізняються від кіл, що тільки надзвичайно кропіткі розрахунки Кеплера, які він завершив у 1609 році, дали змогу встановити цю відмінність. Історія цього відкриття така.



### З ІСТОРІЇ НАУКИ

Данський астроном Тіхо Браге досяг небаченої для свого часу точності вимірювань положення планет на небі. Він заповів результати власних астрономічних спостережень своєму співробітникові, німецькому астроному Йоганну Кеплеру. Аналізуючи дані про рух Марса, Кеплер встановив, що планета рухається по орбіті нерівномірно: якби її рух здійснювався по колу, то такого не могло б бути. Перший закон Кеплера твердить: планети рухаються по еліпсах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце. Ученому знадобилося п'ять років, щоб обчисленнями довести цей факт.



У наведеній нижче таблиці зазначено основні дані про Сонячну систему.

Таблиця 16.1

### Основні дані про планети Сонячної системи і Плутон

	Радіуси небесних тіл, км	Тривалість доби відносно зірок	Велика піввісь орбіти, км	Період обертання навколо Сонця
<b>Меркурій</b>	2570	88 діб	57,9 млн	88 діб
<b>Венера</b>	6310	243 доби	108 млн	224,7 діб
<b>Земля</b>	6380	23 год 56 хв 4с	149 млн	365, 26 діб
<b>Марс</b>	3430	24 год 37 хв 23 с	228 млн	687 діб
<b>Юпітер</b>	71800	9 год 50 хв 30с	778 млн	11,9 років
<b>Сатурн</b>	60300	10 год 14 хв	1,43 млрд	29,5 років
<b>Уран</b>	26700	11 год	2,87 млрд	84 роки
<b>Нептун</b>	24800	16 год	4,50 млрд	164,8 років
<b>Плутон</b>	2743	6 діб 9 год	5,90 млрд	247,7 років

Період обертання Землі навколо власної осі дорівнює 24 годинам і називається **сонячною добою** (або просто **добою**). Періоди обертання інших планет і Місяця вказані в таблиці у земних добах.

**Рік** – це період обертання планети навколо Сонця. Земний рік дорівнює 365,26 земних діб. Періоди обертання решти планет вказані в земних добах або в земних роках.

За мільярди років обертання Місяця навколо Землі він сповільнив обертання навколо своєї осі настільки, що зараз повернутий до нас завжди однією своєю стороною і тому робить один оберт навколо власної осі за один місяць.

Земля також уповільнює своє добове обертання (переважно через спричинені Місяцем припливи в океані та рідкому ядрі Землі), але відбувається це дуже повільно, хоча 3,5 млрд років тому земна доба становила лише 6 годин.

## МІСЯЦЬ – ПРИРОДНИЙ СУПУТНИК ЗЕМЛІ

Окрім Меркурія та Венери, усі інші планети Сонячної системи мають природні супутники. У Землі це Місяць. Спостерігаючи за рухом Місяця, можна помітити, що за добу він зміщується на фоні зоряного неба на схід приблизно на 13°. Засікаючи мінімальний час, через який Місяць знову займе своє попереднє положення відносно зір (позиція 2 на мал. 16.3), можна визначити зоряний період обертання Місяця навколо Землі: 27,3 доби (27 діб 7 год і 43 хв). Потрібно розуміти, що промені від зір ідуть практично паралельно через величезну відстань до них.

Якщо визначити проміжок часу між двома послідовними однаковими фазами Місяця (наприклад, повним і наступним повним Місяцем – позиція 3 на мал. 16.3), то отримаємо його сонячний період обертання, який триває приблизно 29,5 доби (29 дів 12 год 44 хв).



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

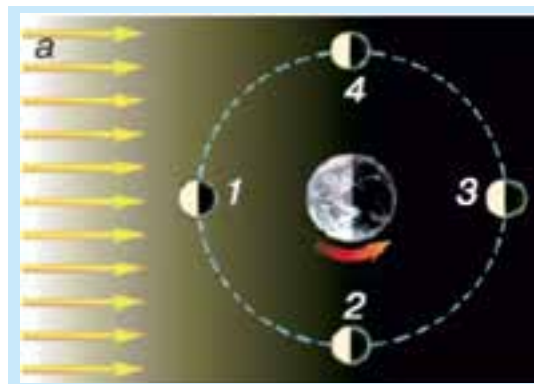
- 16.1. Поясніть за допомогою мал. 16.3, чому період обертання Місяця навколо Землі дорівнює 27,3 дів відносно нерухомих зір, і 29,5 дів відносно Сонця.
- 16.2. Поясніть за допомогою малюнка, чому період обертання Землі навколо осі відносно нерухомих зір становить 23 год 56 хв і 24 год відносно Сонця.
- 16.3. Напишіть реферат про історію вилучення Плутона з сімейства планет Сонячної системи.



Мал. 16.3. Місяць – Земля – Сонце

## СОНЯЧНІ І МІСЯЧНІ ЗАТЕМНЕННЯ

Траєкторію Місяця навколо Землі можна наближено вважати колом (мал. 16.4). Промені світла від Сонця ідуть практично паралельно через величезну відстань до нього.



Мал. 16.4. Фази Місяця.

3 – повний місяць, 2 – перша чверть, 4 – остання чверть, 1 – народження нового місяця

Сонячні затемнення можливі, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею на одній лінії. Кутові розміри Місяця і Сонця практично однакові (тобто здаються однаковими). Під час повного сонячного затемнення Місяць закриває Сонце.

Місячне затемнення можливе, коли Земля опиняється між Сонцем і Місяцем на одній лінії. Здавалося б, сонячні та місячні затемнення повинні відбуватися щомісяця, але це не так. Площина орбіти Місяця нахилена до площини екліптики під кутом  $5^\circ$ , тому зазвичай, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею, со-

нячне затемнення не відбувається (оскільки Місяць знаходиться вище чи нижче площини екліптики). Проте в певні моменти часу (спробуйте пояснити це за допомогою малюнка) Земля, Місяць і Сонце все ж таки можуть опинитися на одній прямій, що лежить одночасно і в площині екліптики, і в площині орбіти Місяця. У такому випадку ми спостерігаємо сонячне чи місячне затемнення.

## ФАЗИ МІСЯЦЯ

Цікаво спостерігати за фазами Місяця. На *мал. 16.4а* зображено положення Місяця відносно Землі у різні моменти його руху по навколомісній орбіті. Малюнок зроблено з позиції спостерігача, який знаходиться в космосі вище площини орбіти Місяця прямо над північним полюсом Землі. Земля обертається навколо своєї осі проти годинникової стрілки (з заходу на схід). У той самий бік обертається по своїй орбіті й Місяць. *Мал. 16.4б* показує Місяць таким, яким його бачить земний спостерігач. Повний місяць видно в положенні 3, коли земний спостерігач бачить його повністю освітленим. У цій же позиції можна побачити місячне затемнення (якщо Місяць лежить у площині екліптики). В положенні 2 земний спостерігач бачить освітленою праву половину Місяця – це перша чверть. В положенні 4 земний спостерігач бачить освітленою ліву половину Місяця – це остання чверть. У положенні 1 диск Місяця не видно, але вже наступного дня справа на диску з'явиться вузький світний серп – молодик. Якщо в положенні 1 Місяць знаходитиметься ще й у площині екліптики, то з деяких точок Землі можна буде спостерігати сонячне затемнення.

Таблиця 16.2

### Основні дані про Місяць

Радіус Місяця	Період обертання навколо Землі		Радіус орбіти Місяця
	Зоряний період	Сонячний період	
1740 км	27,3 діб	29,5 діб	380 000 км

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Вісім планет Сонячної системи рухаються по еліпсах навколо Сонця, які мало відрізняються від кіл.
- ➔ Усі планети рухаються майже в одній площині (площині екліптики).
- ➔ Сонячні й місячні затемнення відбуваються, коли Сонце, Місяць і Земля одночасно знаходяться на одній прямій та в одній площині.



### ТВОРЧІ ЗАВДАННЯ

- 16.1-3.** За допомогою яких спостережень можна помітити: **а)** добове обертання Землі? **б)** Рух Місяця навколо Землі? **в)** Рух Землі навколо Сонця?
- 16.4.** Чому всі планети обертаються в один і той самий бік, а їхні орбіти лежать майже в одній площині?



## ВПРАВА 16

1. Скільки планет входить зараз до складу Сонячної системи?
2. Назвіть дві причини, чому Плутон вилучили зі складу планет Сонячної системи.
3. Чому ми бачимо тільки одну сторону Місяця?
4. Чому сповільнюється добове обертання Землі?
5. Чому зоряний і сонячний періоди обертання Місяця навколо Землі відрізняються?
6. Назвіть чотири основні фази Місяця.
7. Куди зміщується Місяць протягом ночі на фоні нічного зоряного неба?
8. Розкрутіть на столі сире і зварене яйце. Чим відрізняються їхні обертання? Спробуйте пояснити це явище.
9. Який період обертання секундної та хвилинної стрілок годинника?
10. З якою швидкістю рухається Місяць навколо Землі, якщо його зоряний період обертання становить 27,3 земних діб, а середній радіус орбіти – 380 000 км?
11. а) вкажіть на мал. 16.4, в якій точці орбіти Місяця і за яких умов може відбутися сонячне затемнення. б) У якій точці орбіти Місяця може відбутися місячне затемнення?
12. За скільки хвилин світло від Сонця доходить до Землі?
13. Знайдіть (наближено) відношення радіуса Землі до радіуса Місяця, виразивши його цілим числом.
14. Знайдіть (наближено) відношення радіуса орбіти Місяця до радіуса Землі, виразивши його цілим числом.
- \* 15. Які закономірності й особливості в періодах обертання планет навколо Сонця ви помітили, вивчаючи таблицю 16.1?
- \* 16. О 12-й годині хвилинна і годинна стрілки збігаються. Через який мінімальний час повториться цей збіг?
- \* 17. Штучний супутник обертається навколо Землі в напрямку з заходу на схід. Що більше: час обертання супутника відносно Землі чи відносно нерухомих зірок?

## § 17. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. МАЯТНИКИ

Коливання часто можна спостерігати в природі й техніці. Коливаються легні при диханні, коливається маятник механічного годинника і поршні автомобільного двигуна.

### НИТЯНИЙ МАЯТНИК

Найзручніше спостерігати й вивчати коливання за допомогою пристрою, який називають «нитяним маятником». Цей маятник утворюється ниткою, до якої кріпиться кулька (мал. 17.1). На малюнку  $l$  – довжина нитки маятника, 2 – положення рівноваги, швидкість кульки тут найбільша.

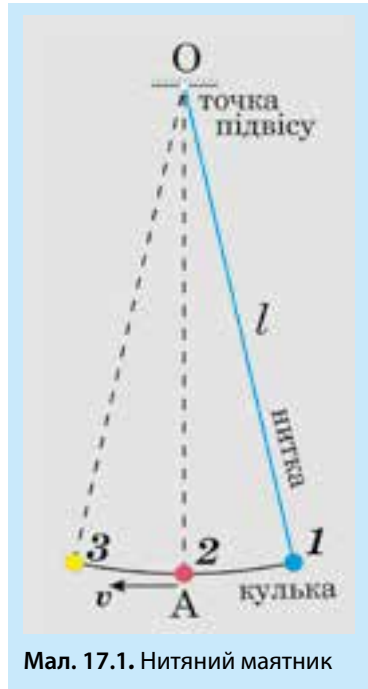


## ДОСЛІД 17.1

Прикріпимо до одного кінця тонкої нитки довжиною один метр пластилінову кульку діаметром приблизно 1 см, а другий кінець прив'яжемо, наприклад, до люстри.

У стані рівноваги нитка вертикальна (положення 2 на мал. 17.1), тобто вона збігається з прямовисною лінією. Відхилимо кульку вправо (положення 1 на мал. 17.1) на деяку невелику, порівняно з довжиною нитки, відстань (наприклад, 10 см) і відпустимо. Кулька почне рухатися спочатку повільно, а потім усе швидше в напрямку до положення рівноваги, проскочить це положення і почне відхилятися вліво, зменшуючи свою швидкість, поки не зупиниться в точці 3. Потім кулька почне рухатися вправо, знову пройде положення рівноваги і зупиниться у крайній правій точці. Рухи такого типу, які періодично повторюються, називають **коливаннями**, а пристрій, який ми використали, – **маятником**.

**Рух кульки від крайнього правого положення до крайнього лівого і назад називають одним повним коливанням** (1-2-3-2-1 на мал. 17.1). Далі усе повториться спочатку. Якщо спостерігати за кулькою достатньо довго, то ми помітимо, що відстані, на які вона відхиляється вліво та вправо, поступово зменшуються. Причиною цього є сила тертя. Урешті-решт коливання припиняться.



Мал. 17.1. Нитяний маятник

## АМПЛІТУДА, ПЕРІОД І ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ

Траєкторія руху кульки – дуга кола, центр якого знаходиться в точці підвісу, а радіус дорівнює відстані від точки підвісу до центру кульки. **Найбільше відхилення від положення рівноваги називають амплітудою коливань**. Позначимо амплітуду літерою  $A$ . У нашому прикладі це довжина дуги між точками 1 і 2.

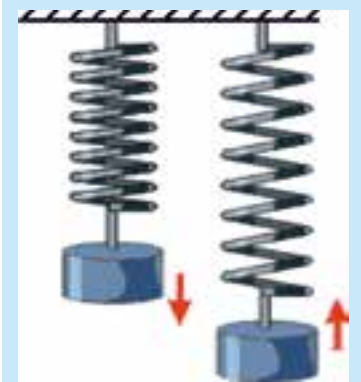
**Час, упродовж якого кулька здійснює одне повне коливання, називають періодом коливань** і позначають літерою  $T$ . У СІ період вимірюють у секундах. Якщо за час « $t$ » кулька здійснила « $N$ » повних коливань, то період визначатиметься так:

$$T = \frac{t}{N} \quad (17.1)$$

**Кількість повних коливань, що їх здійснює кулька за одиницю часу, називають частотою** і позначають грецькою літерою  $\nu$  («ню»). Згідно з цим визначенням,

$$\nu = \frac{N}{t} \quad (17.2)$$

Частоту вимірюють у герцах (Гц). Один **герц** – це частота коливань, за якої протягом секунди тіло здійснює одне повне коливання, тобто 1 Гц = одне коливання за секунду (пишуть 1/с). Одиниця вимірювання частоти коливань названа на честь німецького фізика Генріха Герца, який у 1887 році дослідно довів існування радіохвиль.



Мал. 17.2. Пружинний маятник

## ПРУЖИННИЙ МАЯТНИК

Інша проста коливальна система – це **пружинний маятник**. Він утворюється пружиною, до якої кріпиться тіло. Такий маятник коливається з певною частотою і амплітудою (мал. 17.2), що залежать від маси важка та пружних властивостей пружини.

## СТРОБОГРАМА

Коливання бувають не тільки механічні, як у нитяного маятника, а й електричні. В електричній розетці, наприклад, «коливається» напруга, тобто періодично змінюється з частотою 50 Гц.

На мал. 17.3 ви бачите чудернацькі траєкторії комах у світлі настільної лампи. Якщо уважно придивитися до фотографії, то стане помітно, що траєкторії не суцільні. Так сталося тому, що лампа, яка живиться від джерела змінної напруги, миготить з частотою, що дорівнює подвійній частоті напруги, тобто 100 Гц, яка не помітна для нашого ока, але її «помічає» фотокамера.

Сто разів на секунду лампа запалюється і стільки ж разів гасне. Поки світла мало, комаху на знімку не видно. Час експозиції цифрової фотокамери становив декілька секунд, тому траєкторія і вийшла «пунктирною». Фотографії такого виду називають *стробоскопічними*.

Є спеціальні лампи-стробоскопи, частоту миготіння яких можна змінювати. Ви, напевно, бачили їх на дискотеках. Стробоскопи використовують спортивні тренери (мал. 17.4), а за допомогою стробоскопа налаштовують частоту коливань поршнів автомобільного двигуна.



Мал. 17.3. Стробограма траєкторій комах



Мал. 17.4. Вправа на турніку



## З ІСТОРІЇ НАУКИ

У 1584 році двадцятирічний італієць Галілео Галілей зробив надзвичайно цікаве спостереження. Підвішуючи до нитки то шматок свинцю, то шматок корку, він довів, що маятники однакової довжини коливаються з однаковими періодами незалежно від маси важків. Він також помітив, що період коливань маятника майже не залежить від амплітуди (принаймні, поки амплітуда є малою порівняно з довжиною нитки).

Оскільки період коливань маятника не залежить ні від амплітуди малих коливань, ні від маси кульки, то його, очевидно, можна використати для вимірювання часу. У старі часи координати кораблів у морях й океанах визначали за сонцем і зорями. Причому для визначення довготи був потрібен якнайточніший годинник. Неточно виміряний час і, відповідно, помилки у визначенні координат призводили до помилок у визначенні відстаней, а це, у свою чергу, могло спричинити аварії.

Втрати торгового флоту були настільки значними, що в багатьох морських державах обіцяли великі грошові премії за створення точного морського хронометра. У Голландії, наприклад, пропонували 20 000 золотих гульденів, а у Великобританії – 20 000 фунтів стерлінгів.

Двоє вчених, незалежно один від одного, здогадалися, що маятник, завдяки постійному періодові може стати основною деталлю точного годинника. Це були вже згадуваний італієць Галілео Галілей і голландець Крістіан Гюйгенс. Перший маятниковий годинник за кресленнями Гюйгенса був виготовлений у 1656 році.

Винахідником морського хронометра став англієць Джон Гаррісон, який отримав частину обіцяної урядом премії (12 000 фунтів стерлінгів).

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Найбільше відхилення від положення рівноваги називають амплітудою коливань.
- ➔ Час, упродовж якого здійснюється одне повне коливання, називають періодом коливань.
- ➔ Кількість повних коливань за одиницю часу називають частотою.
- ➔ Період коливань нитяного маятника не залежить ні від амплітуди малих коливань, ні від маси кульки.



## ТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 17.1. З'ясуйте, чому при частоті зміни напруги в розетці 50 Гц лампа розжарення миготить з частотою 100 Гц.
- 17.2. Виготуйте маятник, узявши тонку гумку завдовжки 1 м і прикріпивши до неї пластилінову кульку діаметром 1 см. **а)** Спостерігаючи за коливаннями маятника вліво-вправо при різних амплітудах, встановіть, чим відрізняються ці коливання від коливань маятника на нитці. **б)** Дослідіть невеликі коливання вантажу на гумці вгору-вниз (без розгойдування вліво-вправо). Від чого залежить період цих коливань?



## ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

17.1. Виготовте нитяний маятник з періодом коливань 1 с і визначте з його допомогою площу вашого кухонного стола.



## ВПРАВА 17

1. Наведіть приклади коливань у природі й техніці.
2. З чого складається нитяний маятник?
3. Що називають амплітудою коливань?
4. Дайте визначення одиниці частоти коливань 1 Гц.
5. Дайте визначення періоду коливань.
6. За якої умови період коливань маятника не залежить від амплітуди?
7. Чому винагорода за створення точного морського хронометра була такою великою?
8. Який зміст має частота коливання величиною 50 Гц?
9. З якою частотою коливається гойдалка, якщо за 2 хв вона робить 40 коливань?
10. Маятник зробив 20 коливань за 1 хв. Визначте: а) який період коливань маятника (в секундах)? б) яка частота коливань цього маятника (в Гц)?
11. Як можна перевірити, що період коливань маятника не залежить від маси кульки?
12. Чому маятник можна використати для побудови годинника?
13. Використовуючи малюнок 17.4, вкажіть, в яких положеннях гімнаста його швидкість: а) найбільша; б) найменша.
14. Чому траєкторії комах на мал. 17.3 мають вигляд пунктирних ліній?
15. З якою частотою мигає лампа розжарення?
- \* 16. Висотні будівлі та підвісні мости розгойдуються подібно до маятника. Від чого може залежати період їх коливань?
- \* 17. Деяка точка струни коливається з частотою 440 Гц та амплітудою 2 мм. Яку відстань (у м) пройде ця точка за 5 секунд?

## ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2

# МЕХАНІЧНИЙ РУХ

**МЕХАНІЧНИЙ РУХ** –  
це зміна положення тіла відносно інших тіл у просторі з часом.

## ВИДИ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

### За формою траєкторії

- прямолінійний
- криволінійний

### За швидкістю

- рівномірний
- нерівномірний

Переміщення, швидкість, траєкторія залежать від того,  
в якій **СИСТЕМІ ВІДЛІКУ** вивчається рух тіла.

## СИСТЕМА ВІДЛІКУ

тіло  
відліку

система координат,  
пов'язана з тілом відліку

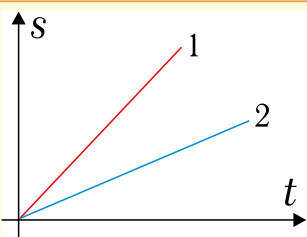
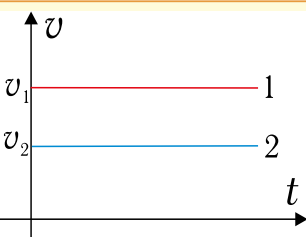
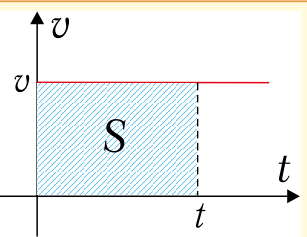
набір синхронізованих  
годинників

## ЗАКОН ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ

Швидкість тіла відносно нерухомої системи дорівнює сумі швидкості тіла в рухомій системі та швидкості рухомої системи

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

## РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ

Графік руху	Графік швидкості	Зв'язок між графіком швидкості та шляхом
		
$v_1 > v_2$	$v_1 > v_2$	Шлях чисельно дорівнює площі фігури під графіком $v(t)$

Форма траєкторії	Шлях	Час	Швидкість
------------------	------	-----	-----------

## ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОМІРНИЙ РУХ

Пряма лінія	$s = v \cdot t$	$t = \frac{s}{v}$	$v = \frac{s}{t}$
-------------	-----------------	-------------------	-------------------

## ПРЯМОЛІНІЙНИЙ НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

Пряма лінія	$s = s_1 + s_2 + \dots + s_n$	$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$	$v_{cp} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$
-------------	-------------------------------	-------------------------------	--

## РУХ ПО КОЛУ

Коло	Шлях за період $l = 2\pi R$ , де $R$ – радіус кола	Період $T(c)$ $T = \frac{t}{N}$ ; $T = \frac{1}{n}$ $N$ – кількість обертів $t$ – час $N$ -обертів	Швидкість при русі по колу $v = \frac{2\pi R}{T}$ Обертова частота $n (1/c)$ $n = \frac{N}{t}$ ; $n = \frac{1}{T}$
------	--	---	---

## КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ

Відрізок прямої, дуга кола	$l \approx 4A$ , де $A$ – амплітуда коливань	Період $T (c)$ $T = \frac{t}{N}$ ; $T = \frac{1}{v}$	Частота $\nu$ (Гц) $\nu = \frac{N}{t}$ ; $\nu = \frac{1}{T}$
----------------------------	---	---	---

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

## ВИБЕРІТЬ ПРАВИЛЬНУ ВІДПОВІДЬ:

1. Яка з швидкостей, 72 км/год чи 25 м/с, більша:

А	Б	В	Г
72 км/год	25 м/с	вони однакові	не можна порівнювати

2. Якою є траєкторія руху Місяця навколо Землі:

А	Б	В	Г
пряма	коло	еліпс	спіраль

3. Чи може шлях точки відносно переміщення: 1. Бути більшим. 2. Бути меншим. 3. Дорівнювати?

А	Б	В	Г
1	2 і 3	3	1 і 3

4. За який час потяг довжиною 200 м переїде міст довжиною 100 м? Швидкість потяга – 54 км/год.

А	Б	В	Г
1 хв	30 с	20 с	0,5 хв

5. М'яч упав з висоти 2 м і підстрибнув на висоту 1,5 м. Визначте шлях і переміщення м'яча.

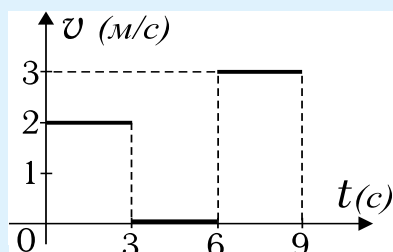
А	Б	В	Г
3,5 м і 1,5 м	0,5 м і 2,5 м	2,5 м і 0,5 м вгору	2,5 м і 0,5 м вниз

6. Тіло перші 30 м свого шляху пройшло за 2 с, а наступні 30 м – за 0,05 хв. Яка середня швидкість тіла?

А	Б	В	Г
15 м/с	12 м/с	600 м/хв	0,5 км/год

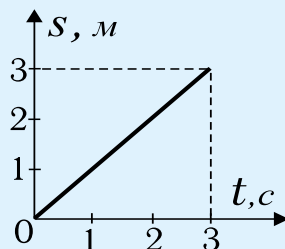
7. За даним графіком обчисліть приблизне значення середньої швидкості тіла за 3 і 9 с:

А	Б
6 м/с і 2 м/с	2 м/с і 1 м/с
В	Г
3 м/с і 3 м/с	6 м/с і 3 м/с



8. За даним графіком визначте швидкість тіла та переміщення за 2 с.

А	Б
3 м/с і 2 м	2 м/с і 3 м
В	Г
1 м/с і 1,5 м	1 м/с і 2 м

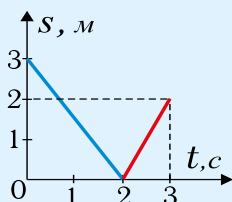
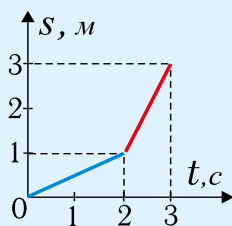


9. Скільки обертів зробить колесо велосипеда, діаметр якого 50 см, якщо велосипед проїхав відстань 62,8 м?

А	Б	В	Г
20	30	40	50

## РОЗВ'ЯЖІТЬ ЗАДАЧІ

- Яку відстань подолає велосипедист, який рухається зі швидкістю 30 км/год, за 30 хв?
- Два потяги рухаються паралельними коліями в один бік. Їхні швидкості становлять 72 км/год і 54 км/год відповідно. Пасажира, який перебуває в першому потязі, помітив, що другий потяг проїхав біля нього за 20 с. Яка довжина другого потяга?
- Швидкість велосипедиста – 18 км/год, а швидкість попутного вітру – 3 м/с. Знайдіть швидкість вітру відносно велосипедиста.
- Дано графік залежності шляху точки від часу. Визначте: **а)** який шлях пройшла точка за 2 с? **б)** Який шлях пройшла точка за 3 с? **в)** Яка величина швидкості точки за перші дві секунди? **г)** Яка величина швидкості точки за останню секунду?
- Дано графік залежності переміщення точки від часу. Визначте: **а)** який шлях пройшла точка за 3 с і в який бік вона рухалася (вперед чи назад)? **б)** Яка величина переміщення точки за 3 с? **в)** Яка величина швидкості точки за перші дві секунди? **г)** Яка величина швидкості точки за останню секунду?
- Яка середня швидкість потяга, якщо за п'ять з половиною годин він подолав відстань 300 км? Загальний час зупинок становить 30 хв.



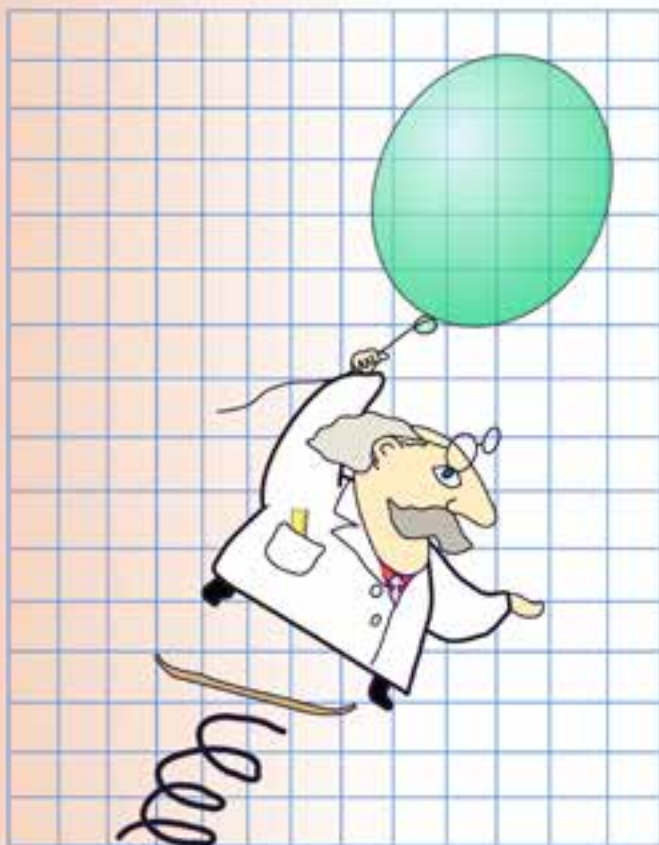
7. У скільки разів період обертання годинної стрілки більший за період обертання хвилинної стрілки годинника?
8. Визначте шлях, який проходить за 2 год кінець хвилинної стрілки довжиною 1,5 см.
9. Швидкість потяга – 72 км/год. Скільки обертів за 1 с роблять колеса вагона, діаметр яких 80 см?
10. На який кут навколо своєї осі повертається Земля за 1 годину?
11. Розрахуйте швидкість точок екватора (у км/год) в їх добовому обертанні разом із Землею.
12. Відомо, що Місяць, обертаючись навколо Землі, постійно повернутий до неї однією своєю стороною. Який період обертання Місяця навколо його власної осі?

## Розділ 3

# Взаємодія тіл Сила

*сила*

*взаємодія тіл*



## § 18. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. ІНЕРТНІСТЬ ТА ІНЕРЦІЯ. ПЕРШИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

У навколишньому світі ми спостерігаємо найрізноманітніші взаємодії тіл. Якщо випустити з рук якийсь предмет, то він падатиме вниз і його швидкість зростатиме через тяжіння Землі. Внаслідок тертя шайба, що ковзає по льоду, зупиняється (мал. 18.1). Наелектризований тертям гребінець притягує дрібні папірці. При ударі пластилінової кульки об стіну вона змінює свою форму (деформується).

Отже, **взаємодією двох тіл називають явище, при якому тіла змінюють характер свого руху (величину чи напрямок швидкості) або деформуються (змінюють форму).**



Мал. 18.1. Внаслідок тертя шайба, що ковзає по льоду, зупиняється

### ІНЕРТНІСТЬ



#### ДОСЛІД 18.1

Покладемо на гладку поверхню стола масивну книжку, наприклад, енциклопедію. Прив'яжемо до неї складену вдвоє швейну нитку, залишивши вільними 30–40 см (мал. 18.2). Натягнемо кінець нитки і **плавню** приведемо книжку в рух, повільно пересуваючи її по столу. Переконаємося, що нитка достатньо міцна, щоб долати тертя. Тепер повторимо дослід, але відпустимо нитку, а потім різко смикнемо за її кінець. У цьому випадку нитка розірветься, навіть якщо її скласти втричі чи вчетверо, а книжка практично не зрушить із місця.



Мал. 18.2. Інертність книжки не дозволяє різко збільшити її швидкість

У цьому простому досліді ми стикаємося з двома ефектами: 1) при взаємодії тіл їхня швидкість починає змінюватися і 2) властивістю тіл «протівитися» зміні швидкості, яку називають інертністю. **Інертність – це властивість тіла не змінювати свою швидкість миттєво.**

Книга не змогла відразу набрати швидкість, яку ми надали нитці, внаслідок чого нитка видовжилася надто сильно й розірвалася. Ми навмисне запропонували взяти масивну книжку, щоб дослід легко вдався.

**У випадку зміни тілом швидкості його маса тіла стає кількісною мірою його ж інертності, тобто чим більша маса тіла, тим важче збільшити чи зменши-**

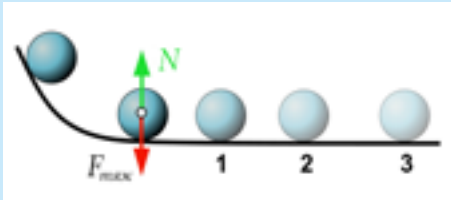
ти його швидкість. Саме тому дуже небезпечно перебігати дорогу перед рухо- мим транспортом: які б сильні не були гальма автомобіля, він не може зупини- тися миттєво та проїжджає до повної зупинки певний **гальмівний шлях**.

## РУХ ЗА ІНЕРЦІЄЮ

**Інерцією називається явище збереження тілом своєї швидкості (як за напрямком, так і за величиною) за відсутності взаємодії з іншими тілами.**

Для того, щоб пересувати важкий ящик підлогою, потрібно докласти знач- них зусиль. Але, якщо добре подумати, можна здогадатися, що зусилля в цьому випадку потрібні тільки для компенсації тертя.

Галілео Галілей був першим, хто помітив, що рівномірний прямолінійний рух може тривати без взаємодії з іншими тілами. Він запропонував дослід, який під- тверджує цю думку.



**Мал. 18.3.** Чим менша сила тертя, тим далі котиться куля. У випадку компенсації сил або їх відсутності тіло ніколи не зупиниться



**Мал. 18.4.** Навіть кинута з невеликою швидкістю боулінгова куля досягає мети

Пустимо масивну кулю котитися з невеличкого горбика, який плавно пе- реходить у горизонтальну площину (*мал. 18.3*). Спочатку горизонтальна по- верхня була глиняною, і куля зупинилася в точці 1. По дерев'яному настилу куля прокотилася далі та зупинилася в точці 2. Якнайдалі (точка 3) куля ко- тилася по гладкій мармуровій підлозі. Якщо уявити, що тертя й опір повітря взагалі відсутні, то логічно припустити, що куля ніколи не зупиниться. Дослід Галілея демонструє гра в боулінг. Гладка підлога дозволяє масивній кулі досяга- ти мети, навіть якщо її кинути з невеликою швидкістю (*мал. 18.4*).

Реально взаємодію тіл повністю усунути неможливо, тому дослід Галілея можна назвати мислимим. Якщо на тіло діють сили, але вони взаємно зрів- новажені, то рух за інерцією можливий. Про це йдеться у першому законі Ньютона.

### Перший закон Ньютона:

існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на це тіло не діють інші тіла або їхня дія скомпенсована. Такі системи називають інерціальними.

Перший закон Ньютона не може бути доведений теоретично, але на його справедливість вказують деякі експериментальні факти та засвідчення наслідків дії цього закону, тому аналогічно до аксіом у геометрії цей закон називають постулатом про існування інерціальних систем відліку.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Взаємодією двох тіл називають явище, за якого тіла змінюють характер свого руху (величину або напрямок швидкості) або деформуються (змінюють форму).
- ➔ Інертністю називається властивість тіла не змінювати свою швидкість миттєво.
- ➔ Інерцією називається явище збереження тілом своєї швидкості (як за напрямком, так і за величиною) за відсутності взаємодії з іншими тілами чи у випадку компенсації дії зовнішніх сил.



### ВПРАВА 18

1. Яких змін можуть зазнавати тіла при взаємодії?
2. Що називають «інертністю»?
3. Який рух називають рухом «за інерцією»?
4. Чи може рухатися тіло, яке не взаємодіє з іншими тілами?
5. На столі лежить книга. Із якими тілами вона взаємодіє?
6. Чому автомобіль не може миттєво: **а)** зупинитися; **б)** рушити з місця; **в)** повернути?
7. Муляр відколов частину цеглини, тримаючи її в руці та вдаряючи по ній молотком. Поясніть: **а)** чому руці при цьому не боляче? **б)** Чому відколюється саме та частина цеглини, по якій б'є молоток?
8. У вагоні потягу на столику лежить м'ячик. Що відбувається з м'ячиком, коли потяг: **а)** рухається рівномірно; **б)** зупиняється; **в)** набирає швидкості; **г)** стоїть на зупинці?
9. Килим витрушують, вдаряючи по ньому пальцею. Поясніть, унаслідок чого пилука залишає килим, а не «втискується» в нього?
10. Для чого на сидіннях автомобіля потрібні: **а)** підголівники; **б)** ремені безпеки; **в)** повітряні подушки?
11. Чи може автомобіль із вимкненим двигуном рухатися рівномірно: **а)** по горизонтальному шосе; **б)** схилом униз?
- \* 12. Два вагони різної маси зіштовхнулися на маневровій ділянці колії. На який вагон подіяла більша сила?
- \* 13. На відстані півметра від берега знаходиться шестимісний човен. Якому з пасажирів легше вистрибнути на берег: першому чи останньому? Назвіть дві причини.

- \* 14. Чому на великій швидкості небезпечно гальмувати переднім колесом велосипеда?
- \* 15. Чому легше забити цвях, ударяючи по ньому молотком, а не просто натискаючи на нього?

## § 19. МАСА ТІЛА. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Усі матеріальні тіла притягуються до Землі. Тіла однакової маси однаково притягуються до Землі, тому цю властивість використовують при вимірюванні маси.

### ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ТІЛА

Масу тіла позначають літерою  $m$  і вимірюють за допомогою важільних терезів. Основа терезів (мал. 19.2) – це коромисло, яке може вільно обертатися навколо осі, що знаходиться посередині й закріплена на вертикально розташованій опорі. До кінців коромисла підвішені дві шальки, які перед зважуванням мають розташовуватися горизонтально, тобто перебувати в стані рівноваги.



Мал. 19.1. Еталон 1 кг



Мал. 19.2. Масу тіла визначають за допомогою важільних терезів



Мал. 19.3. Набір важків для зважування

На одну шальку терезів кладуть тіло, масу якого хочуть визначити, а на другу – важки (мал. 19.3), маса яких відома. Важки добирають так, щоб відновилася рівновага терезів. Сумарна маса всіх важків дорівнює шуканій масі тіла.

За еталон маси спочатку взяли масу 1 літра (1 л) дистильованої води при температурі 4°C. Це вода, очищена від солей і порошинок, її використовують в аптеках для виготовлення ліків, доливають в автомобільний акумулятор. Зараз еталоном маси є циліндр (його висота 39 мм, діаметр 39 мм) із платино-іридієвого сплаву (90% платини, 10% іридію). Це – 1 кг (кілограм) –

основна одиниця маси в СІ. Важки, які використовуються при визначенні маси, – копії еталона. Використовують як більші, так і менші, ніж 1 кг, одиниці маси (табл. 19.1).

Таблиця 19.1

## Співвідношення між одиницями маси

1 т (тонна) = 1 000 кг	1 кг = 0,001 т
1 кг = 1 000 г (грам)	1 г = 0,001 кг
1 г = 1 000 мг (міліграм)	1 мг = 0,001 г
1 мг = 1 000 мкг (мікрограм)	1 мкг = 0,000 001 г

Таблиця 19.2

## Маса деяких тіл

Тіло	Маса
Крильце мухи	50 мкг
М'ячик для настільного тенісу	2,5 г
Футбольний м'яч	400 г
Велосипед	12–14 кг
Людина (у середньому)	70 кг
Легковий автомобіль	1 500 кг
Слон	4 т
Трактор	10 т
Пасажирський вагон	50 т
Кит	100 т

## \* АТОМНА ОДИНИЦЯ МАСИ

В атомній фізиці використовують атомну одиницю маси (а. о. м.). 1 а. о. м. дорівнює  $\frac{1}{12}$  частині маси атома Карбону. Хімічний знак Карбону – С (Carbon).

Маси протона та нейтрона приблизно дорівнюють 1 а. о. м. Маса атома Гідрогену – 1 а. о. м., Карбону – 12 а. о. м., Урану – 238 а. о. м. Маса електрона в 1836 разів менша, ніж маса протона.

## ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Густина речовини – це маса одиниці об'єму цієї речовини. Позначимо об'єм літерою  $V$ , а масу деякої кількості однорідної речовини –  $m$ . Їх відношення назовемо густиною й позначимо грецькою літерою  $\rho$  (читається «ро»). Тоді формула густини буде виглядати так:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (19.1)$$

Найчастіше використовують такі одиниці густини:  $\text{кг}/\text{м}^3$  та  $\text{г}/\text{см}^3$ .

### ПРИКЛАД 19.1

Маса одного літра води приблизно дорівнює  $1 \text{ кг}$ . Це означає, що густина води дорівнює  $1 \text{ кг}/\text{л}$ . Оскільки літр має  $1000 \text{ см}^3$ , а  $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$ , то  $1 \text{ кг}/\text{л} = 1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Знаючи густину речовини, з якої складається тіло, та його об'єм, можна знайти масу тіла:

$$m = \rho \cdot V \quad (19.2)$$

## ГУСТИНА ТІЛА

Тіло може мати порожнини, тобто не бути суцільним, або складатися з речовин різної густини. У цьому випадку можна визначити **середню густину тіла**, поділивши всю масу тіла на весь його об'єм. Так, густина корабля, корпус якого зроблено зі сталі, менша за густину води (інакше він би не плавав), тому що всередині багато пустот.

Щоб отримати густини речовин у  $\text{кг}/\text{м}^3$ , потрібно дані, наведені в таблиці 19.3, помножити на 1000. Наприклад, густина льоду:  $0,9 \text{ г}/\text{см}^3 = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Таблиця 19.3

### Густини деяких речовин у твердому, рідкому та газоподібному станах ( $\text{кг}/\text{дм}^3$ або $\text{г}/\text{см}^3$ )

ТВЕРДІ ТІЛА					
Пухкий сніг	0,1	Корок	0,24	Пінобетон	0,5-0,9
Дерево	0,8	Лід	0,9	Гума	0,92
Папір	0,7-1,2	Плексиглас	1,2	Пісок	1,7
Алюміній	2,7	Алмаз	3,5	Скло	2,4-2,6
Мідь	8,9	Сталь	7,85	Срібло	10,49
Свинець	11,34	Уран	19,0	Золото	19,29
Платина	21,45	Іридій	22,42	Осмій	22,6
Тіло людини $\approx 1 \text{ г}/\text{см}^3$					
РІДИНИ					
Вода (4°)	0,999973	Вода (10°)	0,99970	Вода (20°)	0,99820
Вода (50°)	0,9981	Вода (100°)	0,95835	Важка вода	1,105
Морська вода	1,03	Спирт	0,83	Бензин	0,78
Гас	0,8	Ртуть	13,546	Нафта	0,8

ГАЗИ (0°C, 760 мм рт. ст.)					
Водень	0,09	Гелій	0,18	Азот	1,25
Повітря	1,29	Кисень	1,43		
ПРОДУКТИ					
Цукор	1,61	Сіль	2,17	Борошно	0,4-0,55
Картопля	1,06	Олія	0,91		



## ЦЕ ЦІКАВО

Тверді тіла й рідини дуже важко стиснути, тому їхня густина мало змінюється. Густина ж газів значною мірою залежить від тиску й температури. У XIX ст. деякі гази вдалося перетворити на рідину за допомогою стискання. А от водень і гелій ніяк не піддавалися зрідженню, хоча їх стискали до густини, що перевищувала густину води.



## ДОСЛІД 19.1

Визначте дослідним шляхом густину аркуша паперу формату А4. Порівняйте отриманий результат із даними, зазначеними на обгортці вашої пачки паперу.



## ДОСЛІД 19.2

Визначте масу свого тіла й обчисліть за нею свій об'єм.



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 19.1. За допомогою атомно-молекулярної теорії спробуйте пояснити, чому відрізняються густини різних твердих речовин.
- 19.2. Введіть величину, що показує, який об'єм припадає на одиницю маси, і запишіть формулу для її розрахунку.
- 19.3. Побудуйте графік залежності густини води від температури, використовуючи дані з таблиці 19.3. Знайдіть у довідниках густину води в проміжку температур від 0 до 4°C і за цими даними побудуйте графік.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Маса тіла визначають на важільних терезах і вимірюють у СІ в кг.
- ➔ Масу одиниці об'єму речовини називають густиною. Густину визначають за формулою  $\rho = \frac{m}{V}$ .



### ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

19.1. Виготовте пристрій, густину якого можна змінювати від значення, меншого за густину води, до значення, більшого за густину води. Зовнішній об'єм пристрою при цьому змінюватися не повинен.



### ВПРАВА 19

1. За допомогою якого приладу визначають масу тіл?
2. Яку одиницю маси використовують у СІ?
3. Знайдіть у таблиці 19.3 речовини з найбільшою та найменшою густиною.
4. Як утримуються на воді військові крейсери, виготовлені зі сталі?
5. Порівняйте маси електрона, протона та нейтрона.
6. Порівняйте густини платини та іридію. Поясніть фізичний зміст густин цих матеріалів.
7. Яку масу має: **а)**  $1 \text{ м}^3$ ; **б)**  $1 \text{ см}^3$ ; **в)**  $1 \text{ дм}^3$ ; **г)**  $1 \text{ мл}$  води?
8. Густина заліза дорівнює  $7,87 \text{ г/см}^3$ . **а)** Що означає це число? **б)** Яка густина заліза в  $\text{кг/м}^3$ ? **в)** Чому густина заліза в центрі Землі значно більша ( $\approx 10 \text{ г/см}^3$ ), ніж на поверхні?
9. Чому густина людського тіла мало відрізняється від густини води?
10. Визначте масу золотого злитка об'ємом  $3,4 \text{ см}^3$ .
11. Що має більшу густину: одна зернина чи жменя зерна?
12. Що має більшу густину: атом чи атомне ядро?
13. Яка маса суцільної залізної конструкції об'ємом  $6 \text{ м}^3$ ?
14. Яку приблизно густину має платино-іридієвий сплав?
15. Свинцева та залізна кулі мають однаковий об'єм. Маса якої кулі більша?
16. Скляний та мідний кубики мають однакову масу. Об'єм якого тіла більший?
17. Алюмінієвий і мідний прутки однакового діаметру мають однакову масу. Який із них довший?
18. Чи змогли б ви підняти корковий куб, довжина сторони якого дорівнює  $1 \text{ м}$ ?
19. Назвіть дві можливі причини, через які густина сталі більша за густину алюмінію.
20. Один літр деякої рідини має масу  $830 \text{ г}$ . **а)** Яка густина цієї рідини? **б)** Що це за рідина?
21. Маса суцільного алюмінієвого куба –  $2,7 \text{ кг}$ . **а)** Який об'єм куба? **б)** Яка площа поверхні куба? **в)** Якою стане маса куба, якщо усі його розміри зменшити вдвічі?
- \* 22. Чому густина речовин у твердому і рідкому станах практично не залежить від зовнішнього тиску?
- \* 23. Оцініть масу повітря у вашій кімнаті та порівняйте її з вашою власною масою.
- \* 24. Сплав золота й срібла має масу  $131,4 \text{ г}$  і об'єм  $10 \text{ см}^3$ . Яку масу золота він містить?  $\rho_z = 19300 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_c = 10,5 \text{ г/см}^3$ .
- \* 25. Як можна знайти товщину тонкої пластинки прямокутної форми, якщо є терези та відомі довжина й ширина цієї пластинки?

## §20. СИЛИ В ПРИРОДІ. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТРИ

### СИЛА

Ми щодня спостерігаємо дію різних сил. Наприклад, коли ми несемо валізу, то добре відчуваємо, як вона тягне руку вниз, розтягуючи м'язи. Саме деформація (розтягування) і напруження м'язів дає нам відчуття сили.

Валіза діє на руку, бо її притягує Земля, а не падає вона тільки тому, що дія на неї з боку руки направлена вгору й компенсує (врівноважує) дію сили тяжіння.

**Силою називається кількісна міра взаємодії тіл.** Її зазвичай позначають літерою  $F$  (від англ. *force* – сила), але в деяких випадках використовують індекси та інші літери. **Сила є векторною фізичною величиною**, і на малюнках її зображають стрілкою, яка вказує на напрямок дії сили. Нагадаємо, що векторні величини позначають напівжирними літерами або літерами зі стрілками над ними.

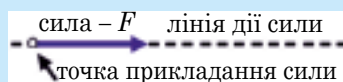
Рівнодійна двох однакових за величиною та протилежних за напрямком сил, що діють на одне тіло й лежать на одній прямій, дорівнює нулю, тобто дві сили компенсують одна одну. Це означає, що ці сили, діючи разом, не порушують стан спокою тіла, а тільки деформують його.

Пряму, яка збігається з вектором сили, називають **лінією дії сили**. Точку на тілі, де розміщено початок вектора сили, називають **точкою прикладання сили** (мал. 20.1).

### СИЛИ ТЯЖІННЯ, ТЕРТЯ І ПРУЖНОСТІ

У повсякденному житті ми найчастіше стикаємося з дією **сил тяжіння, тертя і пружності**. Величину сили в СІ вимірюють у ньютонах (Н). Так ушановано видатного англійського фізика Ісаака Ньютона, який уперше детально дослідив силу тяжіння.

На мал. 20.2 зображено важок, підвішений на тросі до стелі. На нього діє сила тяжіння ( $F_{\text{тяж}}$ ),



Мал. 20.1. Три характеристики вектора сили



Мал. 20.2. Важок, підвішений на тросі



**Мал. 20.3.** При стисканні чи розтягуванні пружини виникає сила пружності



**Мал. 20.4.** Сила тяжіння і сила реакції опори компенсують одна одну

яка направлена вертикально вниз. Не падає важок тому, що на нього з боку троса діє вгору **сила пружності**, яка виникла внаслідок розтягу троса. Цю силу називають силою натягу і позначають літерою  $T$ . Силу пружності легко відчувати, стискаючи чи розтягуючи пружину (мал. 20.3).

## РІВНОВАГА СИЛ

У нашому прикладі (мал. 20.2) сила тяжіння і сила натягу рівні за величиною та протилежні за напрямком. У сумі ці вектори сил дають нуль, і тіло перебуває у стані спокою (не падає). Сила натягу  $T$  виникла в тросі тому, що важок його розтягує. **Характерною ознакою дії сили на тіло є його деформація. Деформацією називають зміну розмірів і форми тіла.**

Якщо покласти валізу на диван, стає помітно, що він під нею прогинається (мал. 20.4). Пружини дивану стискаються доти, поки сила  $N$ , яка діє на валізу з боку опори (дивану), не врівноважить силу тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ . З цього моменту валіза перебуватиме в стані рівноваги. Силу  $N$  називають реакцією опори (слово «реакція» означає «зворотна дія»).

Випадок, коли на тіло діють дві рівні за величиною та протилежні за напрямком сили, є найпростішим прикладом компенсації сил. Слід зауважити, що в наведеному прикладі валіза також деформується. Наприклад, під дією сил  $F_{\text{тяж}}$  і  $N$  (мал. 20.4) валіза трохи сплющується по вертикалі і стає ширшою по горизонталі. **Отже, під дією сил, які компенсують, тіло перебуває в стані спокою і тільки змінює форму.**

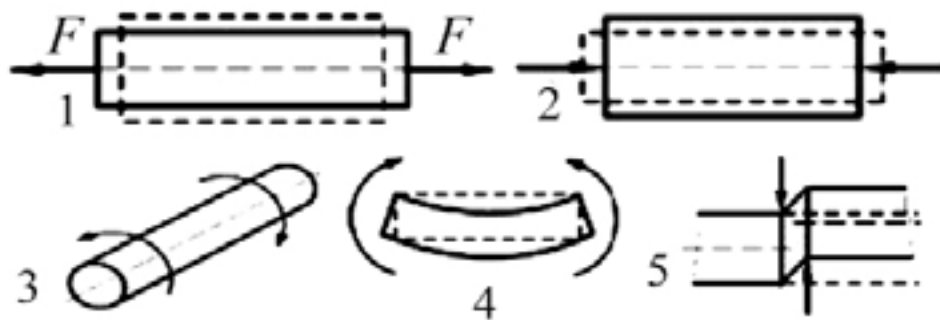


### ДОСЛІД 20.1

Стисніть до купи два волейбольних м'ячі та переконайтеся, що вони обидва при цьому деформуються. Дайте відповідь на запитання: **а)** як залежить величина деформації м'ячів від величини сили, з якою їх стискають? **б)** Якщо один із м'ячів накачаний сильніше, то який із них деформується більше? **в)** Як залежить величина вм'ятини від радіусу м'яча, якщо м'ячі мають різні розміри?

## ВИДИ ДЕФОРМАЦІЙ

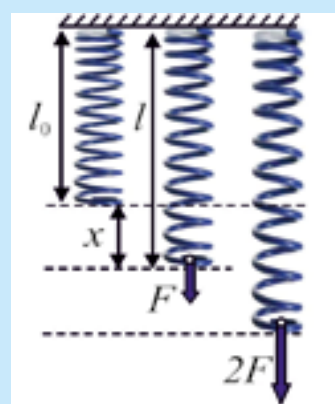
**Деформацією називають зміну форми та розмірів тіла.** Перелічимо види деформації. Деформація розтягу-стиску виникає, наприклад, якщо ми розтягує-



Мал. 20.5. Види деформацій

мо чи стискаємо пружину (мал. 20.5, випадок 1, 2). Якщо краї лінійки обертати в різні сторони, отримаємо деформацію кручення (випадок 3). Зігнувши дугою лінійку, ви спричините деформацію згину (випадок 4). Стругаючи ножом дерев'яну паличку, ми здійснюємо деформацію зсуву (випадок 5).

Підвісимо легку пружину так, щоб вона могла вільно набути вертикального положення (мал. 20.6). Довжину пружини у недеформованому стані позначимо  $l_0$ . Потягнемо за вільний кінець пружини з деякою силою  $F$  вниз. Довжину пружини після видовження позначимо через  $l$ . Різницю  $l - l_0$  називають **видовженням** і позначають літерою « $x$ ».



Мал. 20.6.  $l_0$  – довжина недеформованої пружини,  $l$  – довжина деформованої пружини. Видовження  $x = l - l_0$

## ПРУЖНА ДЕФОРМАЦІЯ

**Деформація** називається **пружною**, якщо після припинення дії сил, що її спричинили, **тіло відновлює свою форму й розміри**.

Сила, прикладена до пружини, видовжуватиме її доти, поки сила пружності, яка напрямлена вгору, не врівноважить цю силу. Якщо припинити дію зовнішньої сили, то сила пружності повертає пружині форму і розмір, які вона мала до початку дослідів.

Прикладемо до пружини вдвічі більшу силу – переконаємося, що видовження стало вдвічі більшим. Утричі більша сила дасть утричі більше видовження.

## ЗАКОН ГУКА

Доти, поки пружина зберігає пружні властивості, її видовження прямо пропорційне величині сили, яка її деформує, і направлене в протилежний бік від напрямку сили. Цей простий закон поведінки пружних тіл, відкритий англій-

ським фізиком Робертом Гуком, названо на його честь – закон Гука. У математичній формі його можна записати так:

$$F = kx, \quad (20.1)$$

де  $F$  – це сила, що видовжує пружину, а  $x$  – її видовження. Коефіцієнт пропорційності « $k$ » називають жорсткістю пружини. Його можна визначити з формули (20.1):

$$k = \frac{F}{x} \quad (20.2)$$

Жорсткість вимірюють у Н/м, якщо « $x$ » вимірювати в метрах, або Н/см, якщо  $x$  виміряли в сантиметрах. Жорсткість показує, яку силу треба прикласти до пружини, щоб вона видовжилася на одиницю довжини.

### ▶ ПРИКЛАД 20.1

Жорсткість пружини  $k = 0,5$  Н/см. **а)** Який фізичний зміст вказаного значення жорсткості? **б)** Складіть таблицю залежності сили  $F$  і жорсткості  $k$  від видовження  $x$  цієї пружини. **в)** Накресліть графік залежності сили від видовження  $F(x)$ .

**Розв'язання.** **а)** Жорсткість 0,5 Н/см означає, що сила 0,5 Н видовжує пружину на 1 см. Чим більша жорсткість, тим важче пружину розтягувати чи стискати.

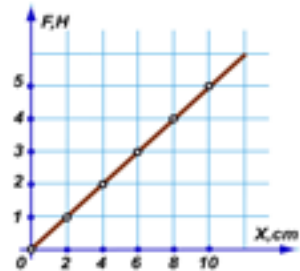
**б)**

$x, \text{см}$	2	4	6	8	10
$F, \text{Н}$	1	2	3	4	5
$k, \text{Н/см}$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

**в)** Див. мал. 20.7.

**Зауваження.** Жорсткість не залежить від прикладеної сили та від величини видовження, тобто є сталою величиною для даної пружини. Це означає також, що графіком  $F(x)$  при пружних деформаціях є пряма.

**Завдання.** Побудуйте на тому самому малюнку (мал. 20.7) графік залежності величини деформуючої сили від видовження пружини, жорсткість якої 1 Н/см.



Мал. 20.7. Графік  $F(x)$

## ДИНАМОМЕТР ВИМІРЮЄ СИЛУ

**Прямо пропорційна залежність** між деформацією « $x$ » та деформуючою силою « $F$ » дозволяє використати пружину для **вимірювання сили**. Прилад, за допомогою якого вимірюють величину сили, називають **динамометром**. Цей термін походить від двох грецьких слів: *динос* – сила і *метрон* – вимірювати.

Основною деталлю динамометра є сталеві пружина. Сталь вибрана тому, що це достатньо пружний матеріал. До вільного кінця пружини прикріплено стрілку,

яка рухається вздовж шкали з поділками, на яких зазначено величину сили (мал. 20.8). Динамометр має обмежувач, який не дозволяє пружині видовжуватися за межі прямої пропорційності.

### ▶ ПРИКЛАД 20.2

- а)** Яка жорсткість пружини динамометра (мал. 20.8), якщо відстань між нульовою і першою позначкою шкали становить 2,5 см?  
**б)** З якою силою на пружину діє батарейка?

**Розв'язання.** **а)** Згідно з формулою (20.2)  $k = 1\text{Н}/2,5\text{ см} = 0,4\text{ Н/см}$ . **б)** Ціна поділки шкали динамометра становить 0,1 Н. Отже, він показує силу 1,9 Н. Стандартний запис результату вимірювання сили:

$$F = (1,90 \pm 0,05)\text{Н}$$

**Зауваження.** Початкове положення стрілки динамометра не зовсім точно збігається з нулем шкали, тому важок діє на пружину з дещо меншою силою, ніж вказує стрілка. Можна спробувати оцінити похибку.



Мал. 20.8. Вимірювання сили

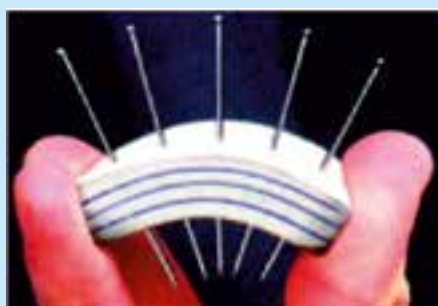
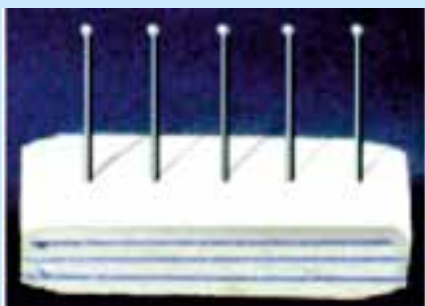
## ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

При будівництві кораблів, літаків, будинків, мостів, веж використовують балки, які виконують роль опор або ж перекриттів. Проведемо простий дослід, ідея якого спричинила революцію в будівельній індустрії.



### ДОСЛІД 20.2

Візьмемо довгий гумовий ластик і ввіткнемо в нього кілька голок так, щоб вони виступали з обох боків (мал. 20.9). Зігнемо ластик, моделюючи прогин балки. Видно, що з одного боку кінці голок зблизилися, а з іншого –



Мал. 20.9. Деформація згину показує, що внутрішня частина гумки не деформується

розійшлися. Це свідчить про те, що нижня сторона нашої «балки» стискається, а верхня – розтягується.

А що відбувається з серединою балки? Очевидно, що вона деформується мало. Це означає, що внутрішня частина балки може бути порожньою й це не завдасть суттєвої шкоди її міцності. Круглу суцільну балку можна замінити трубою, прямокутну – П-подібною, Т-подібною, хвилястою (як шифер) або ж схожою на рейки, з яких монту- ють залізничні колії.

Ви, мабуть, бачили, що залізобетонні плити, якими перекриваються поверхи висотних будинків, мають усередині трубоподібні порожнини (мал. 20.10). Ці «хитрощі» надають наступні переваги: **а)** зменшення витрат матеріалу; **б)** зменшення ваги конструкції; **в)** поліпшення тепло- та звукоізоляції.

Другою ідеєю, яка суттєво змінила спосіб будівництва, стало викорис- тання бетону, армованого залізними прутами. Річ у тім, що залізо добре ви- тримує деформацію розтягу, а бетон міцний «на стиск». Таким чином, залі- зобетон витримує будь-які деформації.

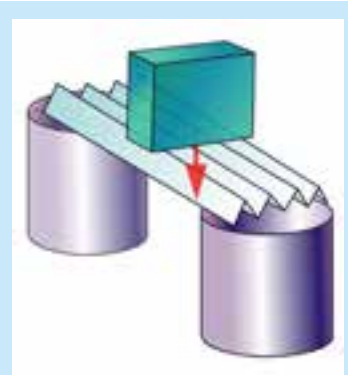


Мал. 20.10. Конструкції різних профілів



### ДОСЛІД 20.3

**а)** Візьміть аркуш паперу й покладіть його краї на дві опори (ними можуть бути дві склянки чи дві сірникові коробки). Отрима- єте щось схоже на міст. Під дією власної ваги він прогнеться. **б)** Повторіть дослід із арку- шем, гофрувавши його (мал. 20.11). Який мак- симальний вантаж із сірникових коробок може витримати така конструкція?



Мал. 20.11. Гофрований папір витримує значний вантаж



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 20.1. Знайдіть спосіб визначення міцності зовнішньої частини сірникової короб- ки в різних напрямках.
- 20.2. Побудуйте модель підвісного моста.
- 20.3. Як виготовляють і де використовують «попередньо напружений бетон»? Підготуйте на цю тему реферат.

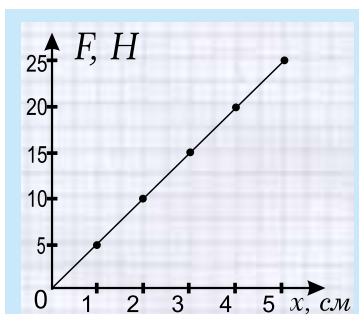
## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ⇒ Силою називається кількісна міра взаємодії тіл.
- ⇒ Деформація – це зміна розмірів чи форми тіл. Бувають деформації розтягу-стиску, згину, зсуву, кручення.
- ⇒ Закон Гука дозволяє описати усі види деформацій.
- ⇒ Формула закону Гука для пружної деформації розтягу-стиску:  $F = kx$ .
- ⇒ Силу вимірюють динамометром. Основна деталь приладу – сталевая пружина.
- ⇒ Знання фізики деформацій призвело до революції в будівельній індустрії.



### ВПРАВА 20

- У якому випадку дві сили компенсують одна одну?
- Назвіть ознаки деформації тіла.
- З якими силами ми найчастіше зустрічаємося в повсякденному житті?
- При яких деформаціях виконується закон Гука?
- Назвіть дві ознаки того, що деформація тіла є пружною.
- Яка властивість пружини дозволяє використовувати її у прикладі для вимірювання сили?
- Як деформується середня частина балки при деформації згину?
- Який ще зиск, крім міцності і малої ваги, мають від перекриттів, пустих всередині?
- Чому не прогинається гофрований аркуш паперу?
- Рама велосипеда зроблена із трубок. Назвіть переваги такої конструкції.
- Чому пружину динамометра виготовляють зі сталі, а не з міді?
- Накресліть профіль перерізу залізничної рейки і поясніть, чому він має саме таку форму.
- Як деформується: **а)** трос підвісного мосту; **б)** самий міст; **в)** пілони (стовпи, до яких кріпляться троси)?
- Знайдіть жорсткість пружини, яка видовжується на 3 см під дією сили 36 Н. Виразіть жорсткість у Н/см.
- Яку силу необхідно прикласти до пружини жорсткістю 20 Н/см, щоб видовжити її на 3 см?
- Побудуйте два графіки залежності сили, яка деформує пружину, від видовження для пружин, жорсткості яких: **а)** 2 Н/см; **б)** 4 Н/см.
- За графіком залежності сили, що деформує пружину, від видовження визначте жорсткість пружини (мал. 20.12).
- Запишіть значення сили  $F$ , яку показує динамометр (мал. 20.13), визначивши ціну поділки та абсолютну і відносну похибки вимірювання.



Мал. 20.12



Мал. 20.13

- \* 19. Якщо дві однакові пружини жорсткістю  $k$  з'єднати послідовно одна за одною, то якою буде жорсткість складеної пружини?
- \* 20. Запропонуйте спосіб вимірювання згину балки.



**Роберт Гук (Robert Hooke, 1635–1703)** народився 1635 р. на острові Уайт у сім'ї церковного служителя. Після закінчення школи навчався в Оксфордському університеті. Спочатку працював асистентом відомого фізика Роберта Бойля, допомагаючи йому конструювати повітряний насос. Гук побудував великий дзеркальний телескоп і відкрив зоряне скупчення в сузір'ї Оріона – так звану «Трапецію Оріона», а також уперше помітив, що Юпітер обертається навколо власної осі. Крім того, Гук удосконалив мікроскоп і вивчав будову кристалів, зокрема сніжинок; увів поняття «клітина» в біології; розглядав можливість створення штучних волокон; у 1672 році відкрив дифракцію світла і, щоб пояснити це явище, запропонував хвильову теорію світла. Гук виявився першим, хто довів, що тіла при нагріванні розширюються, і висловив гіпотезу, що повітря складається з маленьких частинок, розташованих на відносно великих відстанях. Він також здогадався, що планети рухаються навколо Сонця по еліпсах і притягуються до нього з силою, обернено пропорційною квадрату відстані від планети до Сонця (але не зумів це довести). Гук запропонував використовувати маятник для дослідження сили тяжіння. У 1660 році вчений відкрив закон пружних деформацій, тобто довів, що пружне видовження твердих тіл пропорційне прикладеній силі. Він навіть зробив спробу теоретично пояснити свій закон взаємодією атомів, з яких складаються тіла, і показав, що жорсткість пружини залежить не тільки від її матеріалу, а й від довжини та площі перерізу. Гук застосував закон пружних деформацій для дослідження годинникових пружин.

## §21. ПРИСКОРЕННЯ. РІВНОДІЙНА СИЛ. II І III ЗАКони НЬЮТОНА



Мал. 21.1. Сила  $F_1$  діє на м'яч, сила  $F_2$  – на ногу

Коли футболіст ударяє ногою по м'ячу, то м'яч різко збільшує свою швидкість, у той час як швидкість ноги при ударі дещо зменшується (мал. 21.1). При цьому виконується важливий закон природи, який ще називають **третім законом Ньютона**: в інерціальній системі відліку сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною й протилежні за напрямком. Це можна коротко записати так:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (21.1)$$

Знак «–» вказує на те, що сили протилежні. Крім того, сили взаємної дії діють уздовж однієї прямої і на різні тіла. У нашому прикладі сила  $F_1$  діє на м'яч вперед, а сила  $F_2$  – на ногу футболіста назад. Лінії дії цих сил збігаються. Ньютон сформулював III закон дуже просто: **дія дорівнює протидії**.

## РІВНОДІЙНА СИЛ

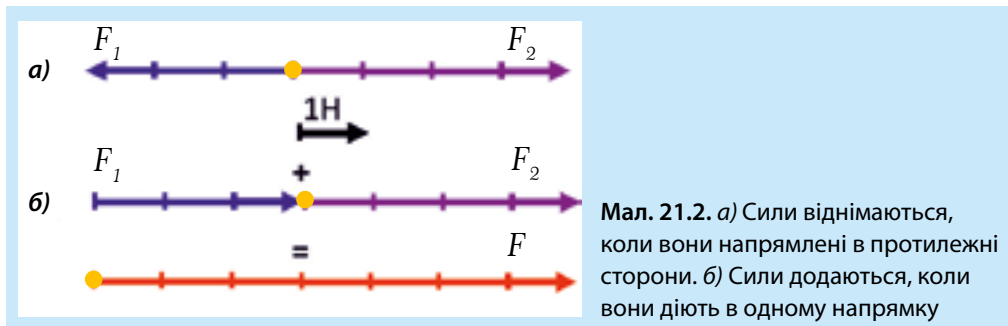
**Рівнодійною називається сила, результат дії якої на тіло збігається з результатом одночасної дії всіх прикладених до тіла сил.**

## ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СИЛ. ДОДАВАННЯ СИЛ, НАПРЯМЛЕНИХ ВЗДОВЖ ОДНІЄЇ ПРЯМОЇ

Розглянемо сили, що діють вздовж однієї прямої.

**а)** Коли сили напрямлені в один бік, то величина їх рівнодійної дорівнює сумі величин цих сил і направлена в той самий бік.

**б)** Якщо сили протилежно напрямлені, то величина їх рівнодійної дорівнює різниці величин цих сил і напрямлена в бік більшої сили.



**Мал. 21.2.** а) Сили віднімаються, коли вони напрямлені в протилежні сторони. б) Сили додаються, коли вони діють в одному напрямку

На мал. 21.2 вибрано масштаб, при якому 1 см відповідає силі 1 Н. Тоді сила  $F_1 = 4\text{Н}$  буде зображена вектором, довжина якого становить 4 см, а сила  $F_2 = 3\text{Н}$  – вектором, довжина якого становить 3 см.

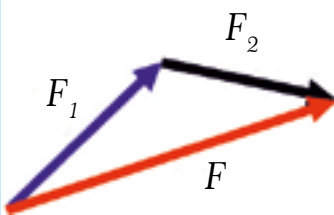
**Рівнодійну** сил  $F_1$  і  $F_2$  позначимо як  $F$ , це записують так:  $F = F_1 + F_2$ .

У випадку **а)** результат спільної дії сил  $F_1$  і  $F_2$  на дане тіло буде такий самий, як у сили  $F$  величиною 1 Н, направленої вправо. У випадку **б)**, коли сили  $F_1$  і  $F_2$  діють в одному напрямку, їх рівнодійна дорівнює сумі цих сил, тобто становить 7 Н і напрямлена так само, як і вектори цих сил.

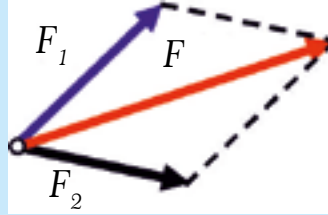
## ДОДАВАННЯ СИЛ, НАПРЯМЛЕНИХ ДОВІЛЬНИМ ЧИНОМ

Сили додаються, як вектори, тобто так само, як переміщення і швидкості (мал. 21.3). При додаванні сил прийнято проводити їх із однієї точки (точки прикладання), як на мал. 21.4. Очевидно, що результати додавання сил за правилом трикутника і правилом паралелограма однакові. На мал. 21.5.

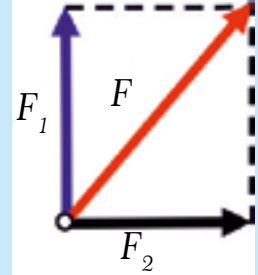
зображено окремий випадок, коли сили напрямлені під прямим кутом. У кожному випадку рівнодійна сила  $F = F_1 + F_2$ . Як уже зазначалося в попередніх параграфах, отримати числове значення суми сил, направлених довільним чином, можна, якщо вибрати довжину стрілок у певному масштабі.



Мал. 21.3. Додавання сил за правилом трикутника



Мал. 21.4. Додавання сил за правилом паралелограма



Мал. 21.5. Додавання сил, напрямлених під прямим кутом

### ▶ ПРИКЛАД 21.1

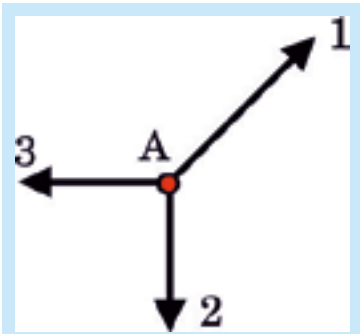
На тіло в точці А (мал. 21.6) діють три сили, пронумеровані як 1, 2 і 3. Яким буде результат дії цих сил на тіло?

**Розв'язання.** Знайдемо рівнодійну сил 1 і 3. З мал. 21.7 видно, що рівнодійною цих сил є вектор сили 4, який компенсує силу 2. Отже, рівнодійна сил у точці А дорівнює нулю, і тіло не змінюватиме свій стан руху.

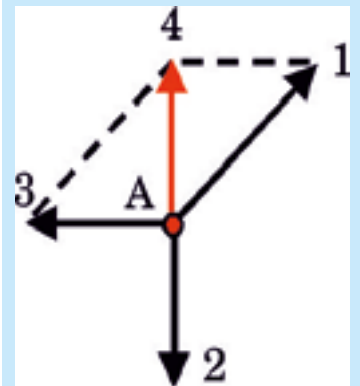
## ПРИСКОРЕННЯ

У випадку, коли сили, що діють на тіло, не компенсуються, його швидкість змінюється, і воно рухається нерівномірно. Для повного опису нерівномірного руху необхідна величина, яка б показувала, як скоро змінюється швидкість із часом. Цю величину називають прискоренням і позначають буквою « $a$ » (від англ. *acceleration* – прискорення).

Нехай тіло, рухаючись прямолінійно, мало в певний початковий момент часу « $t_0$ » швидкість « $v_0$ », а в більш пізній момент часу « $t$ » його швидкість стала рівною « $v$ ». За проміжок часу « $t - t_0$ » швидкість тіла змінилася на величину « $v - v_0$ ». Прискорення – це векторна фізична ве-



Мал. 21.6. На тіло в точці А діють три сили



Мал. 21.7. Замінімо сили 1 і 3 рівнодійною 5

личина, яка дорівнює відношенню зміни швидкості тіла до проміжку часу, за який відбулася ця зміна:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (21.2)$$

Прискорення показує, на скільки змінюється (збільшується чи зменшується) швидкість тіла за одиницю часу.

### ▶ ПРИКЛАД 21.2

Швидкість тіла за 5 с рівномірно збільшилася від 6 м/с до 21 м/с. Яке прискорення тіла?

**Дано:**

$$v_0 = 6 \text{ м/с}$$

$$v = 21 \text{ м/с}$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$a = ?$

**Розв'язання:**

Згідно з формулою 21.2:

$$a = \frac{21 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{5 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Цей результат означає,}$$

що за кожну секунду швидкість тіла збільшувалася на  $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Відповідь.** Прискорення тіла  $a = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  (читають: три метри за секунду в квадраті або, як кажуть пілоти, три метри в секунду за секунду).

Саме в професії військового льотчика і космонавта врахування прискорення дуже важливе, оскільки літак (мал. 21.8) і ракета (мал. 21.9) можуть рухатися з великими прискореннями, що, у свою чергу, призводить до значних перевантажень (збільшення ваги тіла). Майже граничні перевантаження відчуває льотчик при катапультиванні, коли крісло покидає кабінку під дією порохів зарядів, що діють подібно до ракет. Значні прискорення й, відповідно, перевантаження на крутих віражах відчувають бобслеїсти, гірськолижники та пілоти перегонових машин Формули-1 (мал. 21.10).



**Мал. 21.8.** Прискорення літакові надають потужні двигуни



**Мал. 21.9.** Ракета стартує з великим прискоренням



**Мал. 21.10.** Сила тяги прискорює автомобіль, а сили тертя й опору повітря зменшують його швидкість

## ► ПРИКЛАД 21.3

Швидкість тіла за 3 с рівномірно зменшилася від 12 м/с до 6 м/с. Яке прискорення тіла?

**Дано:**

$$v_0 = 12 \text{ м/с}$$

$$v = 6 \text{ м/с}$$

$$t = 3 \text{ с}$$

$$a = ?$$

**Розв'язання:**

Згідно з формулою 21.2,

$$a = \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3 \text{ с}} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \text{ Цей результат означає,}$$

що за кожен секунду швидкість тіла

зменшувалася на  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Відповідь.** Прискорення тіла:  $a = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

## СИЛА І ПРИСКОРЕННЯ

Якщо сили, які діють на тіло, не компенсуються, то тіло одночасно і деформується, і змінює свою швидкість (тобто рухається з прискоренням). Уточнимо визначення сили: **сила – це векторна фізична величина, яка є наслідком дії інших тіл на тіло й спричиняє його деформацію та прискорення.**



## ДОСЛІД 21.1

Рукою притисніть до стола частину пружної лінійки. На кінець лінійки, що виходить за межі стола, покладіть ластик (гумку для стирання), натисніть на цей кінець трохи вниз і відпустіть – ластик підлетить догори. Поясніть: **а)** яка сила розпрямила лінійку; **б)** чому ластик підлетів догори; **в)** чому він потім упав.

## ► ПРИКЛАД 21.4

Коли автомобіль рушає з місця, сила тяги повинна перевищити сили, які заважають рухові (треба сильно тиснути на педаль акселератора).

Коли ж автомобіль набрав потрібну швидкість, водій тисне на акселератор тільки тою мірою, щоб сила тяги, яка діє на автомобіль вперед, компенсувала силу тертя та силу опору повітря, яка на великій швидкості стає суттєвою.

**За таких умов прискорення стає рівним нулю** (тобто швидкість не змінюється), і автомобіль рухається рівномірно (на мал. 21.10 сили, що заважають рухатися, зображені зеленою стрілкою, а сила тяги – червоною).

## СИЛА, МАСА І ПРИСКОРЕННЯ

Прискорення тіла залежить від величини рівнодійної сил (що на нього діють) і від маси тіла. Чим більша, наприклад, маса автомобіля, тим повільніше він буде набирати швидкості за даної сили тяги, тобто меншим буде його прискорення. Маса тіла є мірою його інертності, і чим більша маса, тим більше зусиль потрібно докласти, щоб змінити швидкість тіла, тобто надати йому прискорення. Цей факт відображено в **другому законі Ньютона: в інерціальній системі відліку тіло рухається з прискоренням, що прямо пропорційне рівнодійній сил, які діють на тіло, й обернено пропорційне масі тіла. Напрямок прискорення збігається з напрямком рівнодійної.**

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (21.3)$$

де  $m$  – маса тіла,  $\vec{a}$  – його прискорення, а  $\vec{F}$  – рівнодійна сил тяги і сил тертя, тобто їх різниця (бо вони протилежні).

Формула (21.3) показує, що прискорення тіла  $a$  буде збільшуватися зі зростанням рівнодійної сил (при незмінній масі) і зменшуватися зі збільшенням маси тіла (за незмінної рівнодійної сили).

Залежно від направленості рівнодійної сили вперед чи назад тіло збільшуватиме чи зменшуватиме свою швидкість.

Силу вимірюють у ньютонах (Н), масу – у кілограмах (кг), а прискорення – у  $\text{м/с}^2$ . Згідно з формулою  $F = m \cdot a$ ,  $\text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м/с}^2$  – це означає, що рівнодійна сила 1 Н надає тілу масою 1 кг прискорення  $1 \text{ м/с}^2$  у напрямку, що збігається з напрямком рівнодійної сили.

### ▶ ПРИКЛАД 21.5

Сила тяги автомобіля становить  $F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$ , а сила опору  $F_{\text{опору}} = 1800 \text{ Н}$ . Маса автомобіля – 500 кг. **а)** Яке прискорення розвиває автомобіль? **б)** Яким стане прискорення автомобіля, коли сила опору зросте до 4800 Н?

**Дано:**

$$F_{\text{тяги}} = 4800 \text{ Н}$$

$$\text{а) } F_{\text{опору1}} = 1800 \text{ Н}$$

$$\text{б) } F_{\text{опору2}} = 4800 \text{ Н}$$

$$m = 1500 \text{ кг}$$

$$a = ?$$

**Розв'язання**

**а)** Величина рівнодійної сили:

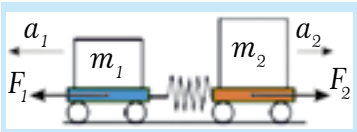
$$F = F_{\text{тяги}} - F_{\text{опору1}} = 3000 \text{ Н. З формули 21.3 визначаємо прискорення } a = \frac{F}{m}.$$

$$\text{Обчислення дають: } a = \frac{3000 \text{ Н}}{1500 \text{ кг}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

**б)** Коли сила опору зросте до 4800 Н, рівнодійна  $F$  стане рівною нулю, внаслідок чого і прискорення дорівнюватиме нулю:  $F = 0 \Rightarrow a = 0$ . Тобто автомобіль почне рухатися рівномірно.

**Відповідь.** **а)** Прискорення автомобіля:  $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . **б)**  $a = 0$ , рух рівномірний.

## ЗІТКНЕННЯ ТІЛ



Мал. 21.11.  $F_1 = F_2$ ;  $m_2 > m_1$ ,  
тому  $a_2 < a_1$

При зіткненні тіла (мал. 21.11, згідно з III законом Ньютона) діють одне на одне з однаковими і протилежно направленими силами незалежно від їхньої маси (формула 21.1). Якщо врахувати також II закон Ньютона (формула 21.3), то виходить, що при зіткненні в тіла з більшою масою прискорення буде меншим. У результаті математичних перетворень отримуємо:

$$m_1 \cdot a_1 = -m_2 \cdot a_2 \quad (21.4)$$

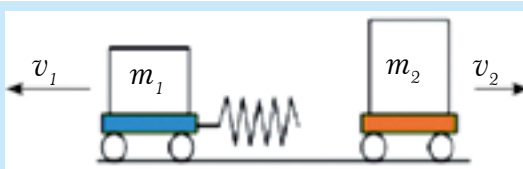
Це співвідношення справедливе за будь-якої взаємодії.

Розглянемо простий випадок, коли початкові швидкості взаємодіючих тіл дорівнюють нулю.

## ▶ ПРИКЛАД 21.6

Два візки масою  $m_1$  та  $m_2$ , що знаходяться на горизонтальній поверхні (мал. 21.12), скріплено пружиною, яка на початку дослідів утримується в стиснутому стані ниткою. Після того, як нитку перепалили, пружина розштовхнула візки, надавши їм деяких швидкостей  $v_1$  і  $v_2$ .

У скільки разів відрізнятиметься швидкість візків?



Мал. 21.12.  $m_2 > m_1$ ,  
тому  $v_2 < v_1$

**Розв'язання.** У цьому спрощеному випадку формула (21.2) дає такі результати:  $a_1 = \frac{v_1 - 0}{t - 0} = \frac{v_1}{t}$ ,  $a_2 = \frac{v_2}{t}$  – очевидно, що час взаємодії однаковий.

Тоді за допомогою формули (21.4) отримуємо:  $m_1 \cdot v_1 = -m_2 \cdot v_2$ , де знак «-» вказує на те, що візки роз'їхалися в різні сторони. Отже,  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2}$ . Знак «-» у цьому відношенні не ставиться.

**Відповідь:**  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{m_1}{m_2}$  – швидкість другого візка у стільки ж разів більша за швидкість першого візка, у скільки разів маса першого візка більша, ніж маса другого візка. Або коротко: відношення швидкостей обернено пропорційне до відношення мас

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

➔ Сила – це векторна фізична величина, яка є наслідком дії на тіло інших тіл і спричиняє деформацію та прискорення.

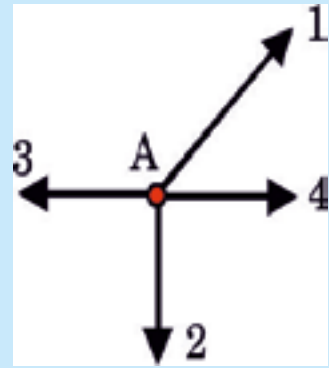
- ⇒ Прискорення показує зміну швидкості тіла за одиницю часу.
- ⇒ **Другий закон Ньютона:** прискорення, якого набуває тіло, прямо пропорційне рівнодійній сил, що діють на нього, й обернено пропорційне масі тіла.
- ⇒ **Третій закон Ньютона:** сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною і протилежні за напрямком.
- ⇒ При взаємодії тіл їхні прискорення протилежно направлені й обернено пропорційні до їхніх мас.



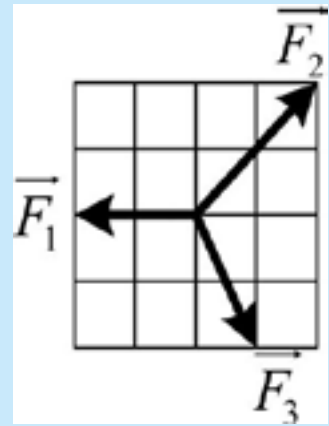
## ВПРАВА 21

1. Як рухається м'ячик, випущений із рук з висоти?
2. Як можна визначити прискорення? Що для цього потрібно знати?
3. Як зміниться прискорення тіла, якщо: **а)** при незмінній масі збільшити рівнодійну силу? **б)** при незмінній рівнодійній силі збільшити масу тіла?
4. Чому педаль газу в автомобілі називають акселератором?
5. Наведіть приклади прискореного руху в побуті та техніці.
6. У які моменти пілоти перегонових машин відчувають прискорення?
7. Як змінюється швидкість м'яча та ноги футболіста при ударі (мал. 21.1)?
8. Як змінюється швидкість стрибун в висоту, коли він летить вгору і коли падає вниз?
9. Коли парашутист рухається прискорено, а коли – рівномірно?
10. Чому автомобіль зменшує швидкість при гальмуванні?
11. Упродовж трьох секунд тіло збільшило швидкість від 6 до 18 м/с. Знайдіть: **а)** прискорення тіла; **б)** поясніть зміст отриманого числа.
12. Швидкість тіла зменшилася на 8 м/с за 2 с. Яким було його прискорення?
13. Двигун автомобіля масою 2000 кг на старті розвиває силу 16 000 Н. **а)** Яке прискорення автомобіля? **б)** Якою буде його швидкість через дві секунди? Силами опору можна знехтувати.
14. Коли ми стрибаємо з човна на берег, чому він починає рухатися від берега?
15. Як виразити одиницю вимірювання сили через основні одиниці СІ?
16. Маса автомобіля збільшили в п'ять разів, не змінюючи силу тяги двигуна. Як зміниться його прискорення?
17. Як зміниться прискорення тіла, якщо його масу та значення рівнодійної сили збільшити в однакову кількість разів?
18. Упродовж трьох секунд тіло масою 5 кг збільшило швидкість із 6 до 18 м/с. Обчисліть величину сили, яка діяла на тіло.
19. На тіло масою 2 кг діє направлена вправо рівнодійна сила 10 Н. **а)** Яким буде напрямок прискорення та його величина? **б)** На скільки зросте швидкість тіла за дві секунди?
20. Якою була рівнодійна сила, що діяла на автомобіль, якщо за 10 с він зі старту набрав швидкість 72 км/год? Маса автомобіля – 1500 кг?
21. Якою є маса тіла, якщо сила 24 Н надала йому прискорення 6 м/с<sup>2</sup>?
- \* 22. Нехай у прикладі 21.6 маса першого візка – 200 г, а другого – 500 г. Якою буде швидкість другого візка після вивільнення пружини, якщо перший візок набув швидкості 100 см/с?

- \* 23. Поясніть причину «віддачі», тобто відскакування назад гармати чи рушниці під час пострілу.
- \* 24. Яка швидкість «віддачі» рушниці масою 2,8 кг, якщо куля масою 10 г вилітає зі ствола зі швидкістю 420 м/с?
- \* 25. Чому при пострілі з рушниці її потрібно міцно притискати до плеча?
- \* 26. Як змінюється швидкість парашутиста в затяжному стрибку, якщо він вистрибнув з літака на дуже великій висоті й довго не відкривав парашут?
- \* 27. Мотоцикл рушив з місця, рівномірно набираючи швидкість. Через час  $t = 5$  с він набув швидкості  $v = 20$  м/с. а) Накресліть графік швидкості мотоцикла і обчисліть шлях, який він подолав за 5 с. б) Знайдіть середню швидкість мотоцикла  $v_{cp}$  за 5 с, виразивши її через максимальну швидкість  $v$ .
- \* 28. На тіло в точці А (мал. 21.13) діють чотири сили, пронумеровані як 1, 2, 3 і 4. Величина четвертої сили становить 5 Н. а) Яка величина рівнодійної цих сил і куди вона напрямлена? б) Яку силу потрібно забрати, щоб тіло знаходилось у стані спокою?
- \* 29. Величина вектора сили  $F_1$  дорівнює 2 Н (мал. 21.14). а) Яка величина й напрямок рівнодійної усіх трьох сил? б) Чому дорівнює величина сили  $F_2$  і  $F_3$ ?



Мал. 21.13



Мал. 21.14

## §22. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

Де б ми не були – високо в горах, на рівнині чи в глибокій шахті – скрізь на нас діє сила тяжіння. Цікаво, чому ж ми не «провалюємося крізь землю»?

### СИЛА, З ЯКОЮ ТІЛО ДІЄ НА ОПОРУ

Розглянемо тіло 1 (мал. 22.1), яке знаходиться в стані рівноваги на горизонтально розташованій підставці 2. Підставкою в реальному житті може бути дорога, підлога, крісло тощо.

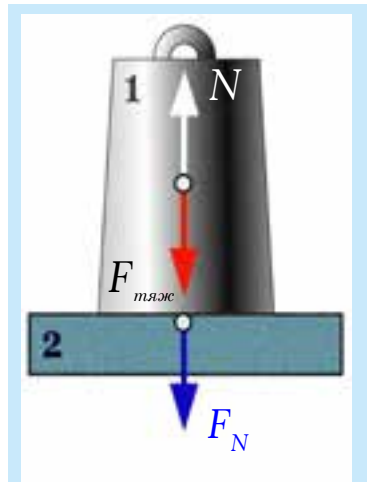
На тіло вертикально вниз з боку Землі діє сила тяжіння  $F_{тяж}$ , внаслідок чого

з боку тіла на підставку **перпендикулярно до поверхні** діє сила тиску  $F_N$ . Зворотна дія підставки на тіло (реакція опори  $N$ ) є силою пружності і виникає внаслідок деформації тіла і підставки.

Сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  і сила реакції опори  $N$  – якщо тіло перебуває у стані рівноваги – врівноважують одна одну, тобто вони рівні за величиною та протилежні за напрямком.

Сила  $F_N$  (дія тіла на підставку) і сила  $N$  (проти дія підставки) завжди рівні за величиною та протилежні за напрямком. Цей факт перевірений дослідно; він є наслідком **третього закону Ньютона**.

Таким чином, тіло, врівноважене на горизонтальній підставці, діє на опору з силою  $F_N$ , яка за величиною і напрямком дорівнює силі тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ .

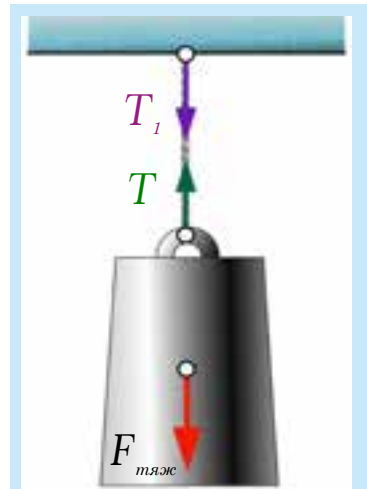


Мал. 22.1. Тіло 1 на підставці 2

## СИЛА, З ЯКОЮ ТІЛО ДІЄ НА ПІДВІС

Розглянемо тіло, підвішене на тросі (мал. 22.2). На тіло з боку Землі діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , внаслідок чого тросок тягне тіло вниз. Трос деформується (розтягується) і діє на тіло з силою натягу, яку позначають літерою  $T$ . Якщо тіло врівноважене, то сили  $F_{\text{тяж}}$  і  $T$  повинні компенсувати одна одну (тобто бути рівними за величиною і протилежними за напрямком). Сили  $T$  і  $T_1$ , які діють на тіло й стелю, також рівні, якщо нехтувати масою троса.

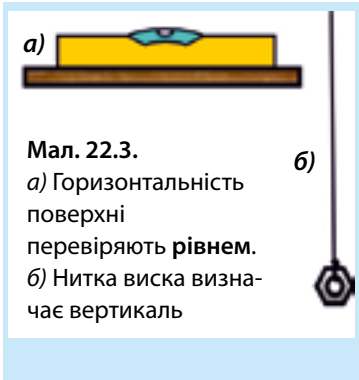
Силу  $F_N$  і  $T_1$  зазвичай позначають літерою  $P$  і називають вагою. Вага – це сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс внаслідок дії сили тяжіння та руху опори чи підвісу з прискоренням.



Мал. 22.2. Важок, підвішений на тросі

## ПРОЦЕДУРА ЗВАЖУВАННЯ

Коли треба **зважити** тіло, його кладуть на чашку пружинної ваги або підвішують до пружини динамометра. *Зважування потребує дотримання певної процедури*. Зокрема, поверхня чашки повинна бути горизонтальною, а пружина динамометра – розміщеною вертикально. Крім того, вага чи динамометр повинні бути нерухомими відносно тіла відліку (приміщення, в якому відбувається зважування).



Уточнимо поняття «вертикаль». **Вертикаль** – це **прямовисна лінія**, яка збігається з ниткою виска (мал. 22.3). Висок легко виготовити, підвісивши на нитці гайку.

Площину, перпендикулярну до вертикалі, називають **горизонтальною**. Горизонтальність поверхні перевіряють за допомогою *рівня* – приладу, що має дещо вигнуту догори трубку з водою, в якій знаходиться бульбашка повітря. Поверхня води в невеликому водоймищі також горизонтальна.



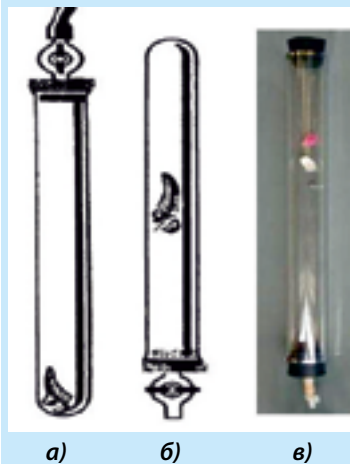
Мал. 22.4. Під дією сили тяжіння швидкість парашутистів збільшується

## ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ

У природі можна спостерігати рух, який відбувається зі сталим за величиною прискоренням. Це рух тіла, коли ніякі інші сили, крім тяжіння Землі, на нього не діють. Такий рух називають **вільним падінням**, його можна реалізувати, наприклад, у вакуумі. Рух парашутистів в затяжному стрибку лише нагадує вільне падіння (мал. 22.4).

Якщо тіло вільно падає, тобто рухається тільки під дією сили тяжіння (наприклад, у вертикальній трубці, з якої викачане повітря), його швидкість рівномірно зростає на  $9,8 \text{ м/с}$  за кожен секунду (прискорення становить  $9,8 \text{ м/с}^2$ ). Прискорення вільного падіння позначають літерою « $g$ ». Якщо тіло підкинути вгору, то його швидкість зменшуватиметься на  $9,8 \text{ м/с}$  за кожен секунду (тобто його прискорення становитиме  $-9,8 \text{ м/с}^2$ ).

На мал. 22.5 зображено дослід із трубкою Ньютона. За наявності повітря в трубці дробинка випереджає пір'їнку через опір повітря. Якщо викачати з трубки повітря, то пір'інка і дробинка падають однаково (випадок «а» та «б»). Поряд (випадок «в») – фотографія демонстраційного приладу, за допомогою якого цей дослід можна показати. Дивовижним у ньому є те, що **тіла різної маси падають у вакуумі з однаковим прискоренням**.



Мал. 22.5. Трубка Ньютона

## ► ПРИКЛАД 22.1

Камінчик випустили з висоти 25 м. **а)** Якою буде його швидкість через 1 с та 2 с? **б)** Яку відстань камінчик пролетить за першу секунду та за дві секунди? Вважайте, що камінчик вільно падає з прискоренням  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Розв'язання.** **а)** Оскільки швидкість тіла при русі вниз зростає на 10 м/с кожної секунди, то в кінці першої секунди швидкість камінчика буде 10 м/с, а через дві секунди становитиме 20 м/с. **б)** Оскільки швидкість камінчика за першу секунду падіння рівномірно зростає до 10 м/с, то його середня швидкість дорівнює середньому арифметичному початкової та кінцевої швидкостей, тобто 5 м/с. Отже, пройдена ним відстань за першу секунду дорівнює 5 м.

Аналогічно за дві секунди середня швидкість становить 10 м/с, пройдена відстань дорівнює 20 м.

## ► ПРИКЛАД 22.2

Стріла, вилітаючи з лука вертикально вгору, має швидкість 30 м/с. Якими будуть швидкість стріли ( $v$ ) та її висота ( $h$ ) через 1, 2, 3, ... 6 с? Вважайте, що стріла рухається з постійним за величиною прискоренням  $g = -10 \text{ м/с}^2$ .

**Розв'язання.** У такому випадку прискорення стріли від'ємне, тобто її швидкість кожної секунди зменшується на 10 м/с. Через секунду швидкість стане 20 м/с, через дві секунди – 10 м/с, і т. д. Зручно буде записати результати розрахунків у таблицю:

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5	6
$v, \text{м/с}$	30	20	10	0	-10		
$h, \text{м}$	0	25	40				

Через три секунди швидкість стріли дорівнює нулю, тобто вона досягла найвищої точки своєї траєкторії, а далі падатиме вниз. Через чотири секунди швидкість стріли становить -10 м/с, знак «-» показує, що стріла змінила напрямок руху. Середня швидкість стріли за першу секунду дорівнює:  $(30 + 20)/2 = 25 \text{ м/с}$ , отже, вона досягне висоти  $25 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} = 25 \text{ м}$ .

**Завдання.** Решту клітинок таблиці заповніть самостійно.

## СИЛА ТЯЖІННЯ ТА МАСА

Оскільки при вільному падінні сила тяжіння надає тілу прискорення  $g$ , то згідно з формулою 21.3 другого закону Ньютона можна записати, що

$$F_{\text{тяж}} = mg \quad (22.1)$$

Отже, знаючи масу тіла, за формулою (22.1) можна обчислити силу тяжіння, яка на нього діє.

## ► ПРИКЛАД 22.3

Якщо ваша маса дорівнює 50 кг, то сила тяжіння, яка діє на вас, становить  $F_{\text{тяж}} = 50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 490 \text{ Н}$ . У випадку, коли опора, на якій ви стоїте, горизонтальна і не рухається з прискоренням, ваша вага  $P$  також становитиме 490 Н ( $P = 490 \text{ Н}$ ).

Потрібно пам'ятати, що **вага – це сила, яка діє на опору або підвіс, а на тіло діє сила тяжіння**.

Якщо потрібно за масою тіла знайти силу тяжіння, яка діє на це тіло, то пишуть:

$$F_{\text{тяж}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

У такому випадку  $g$  використовують як коефіцієнт пропорційності для переходу від одиниць маси до одиниць сили.

Але, якщо хочуть підкреслити, що сила тяжіння надає вільно падаючому тілу прискорення  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ , то пишуть  $F_{\text{тяж}} = m \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . За приблизних розрахунків  $g$  заокруглюють до  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .



Мал. 22.6. Вага тим більша, чим більша маса тіла

## ► ПРИКЛАД 22.4

З якою силою діє на підставку тіло масою 1 кг?

**Розв'язання:** за формулою  $F_{\text{тяж}} = mg$ ,  $F_{\text{тяж}} = 1 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 9,8 \text{ Н}$ .

Отже,  $P = F_{\text{тяж}} \approx 10 \text{ Н}$ .



## ЦЕ ЦІКАВО

Якщо людину масою, скажімо, 60 кг запитати, скільки вона важить, ми почуємо, скоріше за все, що 60 кг, хоча правильно було б сказати: приблизно 600 Н. Така плутанина виникає через те, що колись масу та вагу вимірювали в однакових одиницях – кілограмах.

## НЕВАГОМІСТЬ

Якщо тілу 1 і підставці 2 (мал. 22.1) дозволити разом вільно падати, то деформації, викликані взаємодією цих тіл, зникають, тобто сили  $F_N$  і  $N$  стають рівними нулю. Такий стан називають **невагомістю**. Невагомість настає тому, що підставка і тіло падають із однаковим прискоренням незалежно від своїх мас.

Невагомість настає однаково при вільному падінні вниз та вертикальному русі. Тобто, якщо підкинути тіло, його вага дорівнюватиме нулю як на стадії підйому, так і при опусканні.

Коли космічний корабель виходить на до-вколаземну орбіту й виключає двигуни, настає невагомість. Людина досить погано переносить цей стан, і в майбутньому планують створювати космічні станції подібні до «бублика», який обертатиметься, з штучною вагою всередині (мал. 22.7).



Мал. 22.7. Майбутні космічні станції обертатимуться



## ЦЕ ЦІКАВО

Вагу можна штучно збільшити, як це робиться в центрифугі пральної машини. У наукових лабораторіях використовують ультрацентрифуги (мал. 22.8), де вага предметів може зростати в півмільйона разів проти нормальної, яка за числовим значенням завжди дорівнює  $mg$ .



Мал. 22.8. Вага тіла в ультрацентрифугі може перевищити нормальну в 70 000 разів



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

22.1. Поясніть механізм витискання води з мокрої білизни в центрифугі пральної машини.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

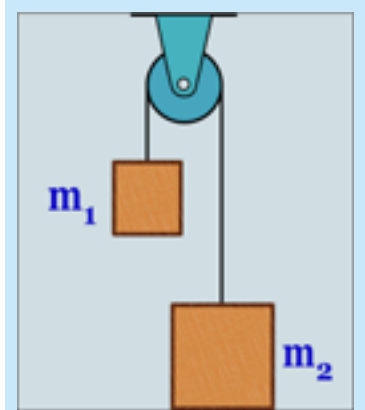
- Силу, з якою тіло діє на горизонтальну опору або вертикально розташований підвіс, називають вагою.
- Сила тяжіння, яка діє на тіло з боку Землі, пропорційна масі тіла і розраховується за формулою  $F_{\text{тяж}} = mg$ .
- У системі відліку, яка не прискорюється, вага тіла визначається за формулою:  $P = mg$ . При вільному падінні тіл настає невагомість.
- Тіло, яке знаходиться в стані вільного падіння, рухається біля поверхні Землі з прискоренням: **а)**  $+9,8 \text{ м/с}^2$ , коли летить вниз; **б)**  $-9,8 \text{ м/с}^2$ , коли летить вгору.



## ВПРАВА 22

1. Як залежить сила, з якою Земля притягує предмети, від їхньої маси?
2. Якими є сила тяжіння та сила реакції опори у випадку рівноваги тіла на горизонтальній поверхні?
3. Що називають вагою тіла?

4. Який рух називають вільним падінням?
5. Назвіть дві особливості вільного падіння.
6. Як змінюється швидкість тіл, які вільно падають?
7. За яких умов настає невагомість?
8. Чи впливає повітря на рух тіл, які падають?
9. Чому деформується тіло, яке стоїть на нерухомій підставці?
10. Чому шафа не провалюється крізь підлогу?
11. Коробку, в якій знаходиться жук, підкинули вгору. З якого моменту жук стане невагомим?
- \* 12. Чи можна зважити тіло на терезах в кабіні космічної станції?
13. Людина знаходиться в ліфті. Яка з сил,  $N$  чи  $F_{\text{тяж}}$ , є більшою для таких випадків: а) ліфт не рухається; б) ліфт рівномірно рухається вгору.
14. Яка вага тіла масою 100 кг?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
15. Знаючи власну масу, обчисліть свою вагу.
16. На залізничну платформу з боку вантажу діє сила 20 000 Н. Яка маса вантажу?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
17. Тіло масою  $m = 2 \text{ кг}$  вільно падає біля поверхні Землі. а) Чому дорівнює сила тяжіння, яка діє на тіло? б) Яка вага тіла?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
- \* 18. До шнура, перекинутого через нерухомий блок, прикріплені тіла масою  $m_1 = 3 \text{ кг}$  і  $m_2 = 5 \text{ кг}$  (мал. 22.9). а) З якою силою діє тіло масою 3 кг на шнур? б) З якою силою діє тіло масою 5 кг на шнур? в) З якою силою діє тіло масою 5 кг на підлогу?
- \* 19. Яку відстань долає камінчик у прикладі 22.1 за другу секунду свого падіння? Спробуйте написати формули, за якими зроблено розрахунки швидкості та пройденої відстані.
- \* 20. У прикладі 22.2 визначте: а) якими будуть швидкість стріли через 5 і 6 с і висота, відповідно, через 3, 4, 5 і 6 с? б) Які закономірності ви помітили, повністю заповнивши таблицю? в) У цій задачі ми робили розрахунки усно й скористалися записом у таблицю. Спробуйте написати формули, за якими зроблено ці розрахунки.



Мал. 22.9. Яка вага важків?

## §23. СИЛИ ТЕРТЯ. КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

### ТЕРТЯ В ПРИРОДІ Й ТЕХНІЦІ

Явище тертя має важливе значення у нашому повсякденному житті, у природі й техніці. Згадайте, як важко іти чи їхати автомобілем в ожеледицю, коли сила тертя незначна. Якби зникло тертя, ми не могли б усидіти на стільці, а цвяхи не трималися б у стіні. Збільшення сили тертя буває життєво необхідним (мал. 23.1).

Так само важливо в багатьох випадках зменшити тертя, як-от кулькові підшипники зменшують тертя в осях багатьох деталей машин та механізмів (мал. 23.2). А як чудово рухаються лижі й ковзани!



#### ДОСЛІД 23.1

Покладемо на книгу, що лежить на столі, коробку сірників. Почнемо піднімати один край книги, збільшуючи кут нахилу (мал. 23.3). Деякий час коробка буде нерухомою, але при певному куті нахилу вона почне зісковзувати вниз.

Наведений дослід викликає принаймні два запитання: **а)** чому коробка не ковзає при малих кутах і **б)** чому коробка при більших кутах починає ковзати?

Одна з причин виникнення сили тертя – це шершавість обох поверхонь, що дотикаються (мал. 23.4). Маленькі нерівності, зумовлені шершавістю поверхонь, чіпляються одна за одну при русі тіла чи при спробі зрушити його з місця.

### ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Тертя, що виникає при ковзанні тіла, називають **тертям ковзання**. Нескладні досліди показують, що **сила тертя ковзання  $F_{тр}$  прямо пропорційна величині сили реакції опори  $N$** . Вектор сили тертя ковзання напрямлений паралельно до площини дотику в бік, протилежний напрямку руху.



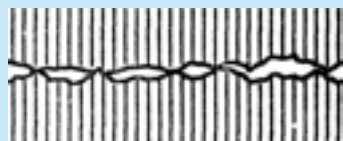
Мал. 23.1. Надійність гальмування залежить від сили тертя



Мал. 23.2. Кульковий підшипник



Мал. 23.3. Сила тертя спокою не дає коробці зісковзнути



Мал. 23.4. Одна з причин тертя – нерівності поверхонь

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \quad (23.1)$$

де  $\mu$  (мю) – коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу поверхонь (табл. 23.1) і ступеня їхньої гладкості й називається коефіцієнтом тертя.

Коефіцієнт тертя ковзання  $\mu$  можна визначити як відношення сили тертя ковзання до величини сили реакції опори:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} \quad (23.2)$$

Величина коефіцієнту тертя залежить від матеріалу ковзаючих поверхонь і рельєфу поверхні. Коефіцієнт тертя є безрозмірною величиною.

Сила тертя ковзання **незначною мірою** залежить від площі дотику ковзаючих поверхонь тіл і швидкості руху.

Коли тіло рухають горизонтальною поверхнею, сила реакції опори чисельно дорівнює силі тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  і вазі тіла  $P$ . Для такого випадку можна записати формулу розрахунку сили тертя ковзання так:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot P = \mu \cdot m \cdot g \quad (23.3)$$

Таблиця 23.1

Коефіцієнти тертя

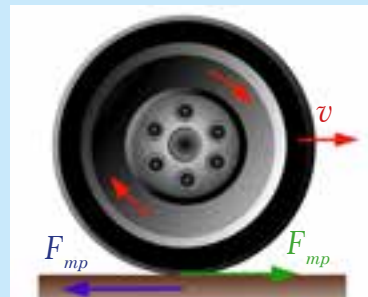
Матеріали	
Дерево по дереву	0,25
Сталь по сталі	0,20
Гума по бетону	0,75
Сталь по льоду	0,05
Сталь по сталі, змащені мастилом	0,05

## ТЕРТЯ СПОКОЮ

Коли деяка паралельна до поверхні сила тяги  $F$  безрезультатно намагається зрушити тіло з місця (мал. 23.5), стає зрозуміло, що ця сила зрівноважена якоюсь іншою силою, яка за величиною точно дорівнює прикладеній силі, однак протилежна їй за напрямком. Цю силу називають **силою тертя спокою**.



Мал. 23.5. Сила тертя спокою дорівнює силі, яка намагається рухати тіло



Мал. 23.6. Тертя спокою штовхає ведуче колесо

Сила тертя спокою примушує автомобіль рухатися та повертати. Вона утримує в спокої тіло, яке знаходиться на похилій площині. Завдяки цій силі ми ходимо. Сила, з якою шина ведучого колеса автомобіля в місці дотику з дорогою **діє на поверхню дороги, спрямована назад**. Ця сила викликає появу сили тертя спокою, що діє на колесо вперед, створюючи силу тяги автомобіля (мал. 23.6).

Подібне явище спостерігається, коли ми ходимо.

## ТЕРТЯ КОЧЕННЯ

Тертя, яке діє на колесо, що котиться, називають **тертям кочення**. Воно значно менше за тертя ковзання, тому майже всі види наземного транспорту мають колеса, а вісі механізмів встановлені на кулькові підшипники. Тертя кочення тим менше, чим більший радіус колеса і чим твердіші поверхні колеса й дороги. Воно також пропорційне силі реакції поверхні та залежить від матеріалу обох поверхонь.



### ДОСЛІД 23.2

Покладіть круглий олівець на нахилену поверхню спочатку вздовж, а потім – упоперек (мал. 23.7). Переконайтеся, що скочуватися він починає при значно меншому куті нахилу, аніж ковзати.



Мал. 23.7. Тертя кочення значно менше за тертя ковзання



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**23.1.** Визначте, як зміниться сила тертя ковзання, якщо поверхню покрити пилюкою або дрібним порошком (використайте пудру, настругану з крейди чи грифеля олівця). Спробуйте висловити гіпотези щодо причин впливу пилюки на величину сили тертя.

## В'ЯЗКЕ ТЕРТЯ

Під час руху в рідині чи в газі виникає в'язке тертя, яке значно менше, ніж навіть тертя кочення. Існують спеціальні транспортні засоби на повітряній подушці, що «літають» над землею або поверхнею води, наприклад, швидкісні паромы та деякі види військових десантних катерів. Проходять випробування потяги на «магнітній подушці», які утримуються в повітрі силами магнітного поля (мал. 23.8). За своєю швидкохідністю вони наближаються до літаків. **Важлива особливість, що вирізняє в'язке тертя, полягає в**



Мал. 23.8. Сила в'язкого тертя виникає під час руху в рідині чи в газі

тому, що у нього: а) немає тертя спокою; б) величина в'язкого тертя зростає зі збільшенням швидкості руху.

Деталі машин, які «труться», змащують мастилами, щоб зробити тертя в'язким і зменшити втрати енергії.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Сила тертя ковзання прямо пропорційна величині сили реакції опори  

$$F_{\text{мп}} = \mu \cdot N.$$
- ➔ Вектор сили тертя ковзання напрямлений паралельно до площини дотику в бік, протилежний до напрямку руху.
- ➔ Сила тертя спокою дорівнює і протилежна тій силі, яка не може зрушити тіло з місця.
- ➔ Тертя кочення набагато менше за тертя ковзання.
- ➔ В'язке тертя виникає при русі в рідині або в газі. Не існує в'язкого тертя спокою.



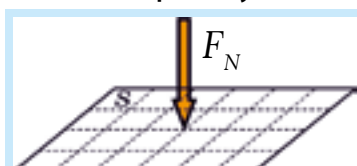
### ВПРАВА 23

1. В яких випадках тертя потрібно: а) збільшити; б) зменшити?
2. Назвіть відомі вам види тертя.
3. Чому в машинах так широко використовують кулькові підшипники?
4. Чому мастильні матеріали значно зменшують тертя?
5. Від чого залежить величина коефіцієнту тертя ковзання?
6. Як залежить сила тертя ковзання від ваги тіла?
7. Чому ковзанярі й велосипедисти вдягають костюми з дуже гладкої тканини?
8. Чому тіла риб слизькі?
9. В яких випадках сила тертя збігається з напрямком швидкості?
10. Чому колеса автомобіля пробуксовують, коли він рушає з місця під час ожеледиці?
11. В яких межах може змінюватися сила тертя спокою?
12. Чому на слизькій дорозі автомобілю небезпечно робити різкий поворот?
13. Чому колеса залізничних вагонів чавунні, а рейки – сталеві?
14. Чому всюдиходи та колісні трактори мають великі колеса?
15. На столику в потязі лежать книга та яблуко. Чому, коли поїзд рушив з місця, книга залишилася нерухомою, а яблуко покотилося назад?
16. Чому людина не може зрушити з місця залізничний вагон, але зрушить човен такої ж маси?
17. У скільки разів зменшиться сила тертя між сталевими деталями після змащування їх мастилом?
18. Яку силу потрібно прикласти до санчат масою 80 кг, щоб зрушити їх з місця на льодяній поверхні?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
19. Яка сила тертя виникне, якщо 10-тонна вантажівка різко загальмує?
- \* 20. Який різновид сили тертя а) втримує на повороті спортсмена на роликів ковзанах; б) заважає йому рухатися?

- \* 21. Дерев'яний брусок масою 0,2 кг рівномірно тягнуть горизонтальною дерев'яною поверхнею за допомогою динамометра. Знайдіть видовження пружини (у см), коефіцієнт жорсткості якої – 100 Н/м,  $g = 10$  Н/кг.

## §24. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ. СИЛА ТИСКУ

Про атмосферний тиск часто повідомляють синоптики в прогнозах погоди, артеріальний тиск вимірює лікар. У фізиці **тиском називають фізичну величину, яка чисельно дорівнює силі тиску на одиницю площі поверхні** (мал. 24.1). Тиск позначають літерою « $P$ » (від англ. *pressure* – тиск).



Мал. 24.1. Тиск чисельно дорівнює силі, яка діє на одиницю площі

### ОБЧИСЛЕННЯ ТИСКУ

Щоб обчислити тиск, потрібно перпендикулярну до поверхні величину сили тиску  $F_N$  розділити на площу цієї поверхні  $S$ :

$$p = \frac{F_N}{S} \quad (24.1)$$

На відміну від сили, тиск – *скаляр*. У СІ, де сили вимірюють ньютонами (Н), а площу –  $\text{м}^2$ , тиск вимірюється у  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

Сила тиску величиною в 1 Н, яка діє на площу в  $1 \text{ м}^2$ , створює тиск величиною в 1 Паскаль, тобто  $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ . Одиниця тиску названа на честь французького фізика й математика, винахідника першої механічної обчислювальної машини, гідравлічного преса та медичного шприца, філософа і письменника Блеза Паскаля.

Один Паскаль – дуже маленький тиск (порівняємо з нормальним атмосферним тиском 760 мм рт. ст., який становить 101 325 Па або приблизно  $100\,000 \text{ Па} = 10^5 \text{ Па}$ ).

У техніці часто застосовують більш зручну одиницю тиску: **одна фізична атмосфера** (атм); 1 атм дорівнює 101 325 Па (точно) або приблизно 100 000 Па. Наприклад, тиск у камері автомобільного колеса становить приблизно 2 атм.

### ВІД ЧОГО ЗАЛЕЖИТЬ ТИСК

Якщо йти пішки по глибокому снігу, то ноги провалюються, а якщо на лижах – то ні. Сила тиску на сніг одна й та сама. У чому ж різниця? А в тому, що тиск, який створюють на сніг лижі, набагато менший, оскільки їхня площа зна-

чно більша за площу підшов. Отже, величина тиску в даному випадку краще пояснює явище, ніж сила тиску.

Збільшити тиск, як видно із формули (24.1), можна або збільшуючи силу тиску, або зменшуючи площу поверхні, на яку діє сила. Наприклад, бджола, жалячи (мал. 24.2), створює великий тиск, оскільки площа жала дуже маленька. Трактор (мал. 24.3) або навіть танк через велику площу гусениць тиснуть на поверхню слабше, ніж коли ми ходимо.



Мал. 24.2. Тонке жало бджоли протинає шкіру



Мал. 24.3. Трактор чинить менший тиск, ніж нога людини

### ► ПРИКЛАД 24.1

Порівнюємо тиск, який створюють підбори туфель дівчини та нога слона (мал. 24.4).

$g \approx 10 \text{ Н/кг}$	Дівчина	Слон
Маса ( $m$ )	50 кг	4 000 кг
Сила тяжіння ( $mg$ )	500 Н	40 000 Н
Сила тиску ( $F_N$ )	500 Н	40 000 Н
Площа опори ( $S$ )	2 $\text{см}^2$	1 000 $\text{см}^2$
Тиск ( $p = F_N/S$ )	250 $\text{Н/см}^2$	40 $\text{Н/см}^2$



Мал. 24.4. Хто «сильніший»?

Маси дівчини і слона, площі каблучка й ступні ноги слона взяті приблизно (як це роблять в оціночних задачах).

### ► ПРИКЛАД 24.2

Нехай гострий кінець голки має лінійні розміри 0,1 мм (не дуже гостра голка). Тоді площа вістря становитиме приблизно 0,01  $\text{мм}^2$ . Якщо голку придавити гирею 10 кг, то тиск, із яким вона давитиме на стіл, буде в 100 000 разів більший за атмосферний. Під таким тиском і за температури 2 300°C у 1955 році вперше отримали штучні алмази.



## ЦЕ ЦІКАВО

Дуже великий тиск – 400 000 атм. – за допомогою гідравлічного преса вперше отримав американський інженер Бріджмен. Надсильні тиски на великих площах отримують за допомогою вибухів. Так, під час розриву атомної бомби створюється тиск 10 000 мільярдів атм.



Мал. 24.5. Персі Бріджмен

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЗАДАЧА 24.1

Оцініть ваш тиск на підлогу. Нагадаємо, що площу підошви, отримавши її відбиток на аркуші паперу в клітинку, можна підрахувати способом, вказаним на мал. 24.6. Для цього потрібно до числа цілих клітинок додати половину числа нецілих клітинок, а отримане число помножити на площу однієї клітинки (сторона клітинки становить 0,5 см).



Мал. 24.6. Спосіб приблизного обчислення площі підошви

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ⇒ Тиск чисельно дорівнює силі тиску на одиницю площі поверхні.
  - ⇒ Тиск дорівнює відношенню величини сили тиску до площі поверхні:
- $$p = \frac{F_N}{S}.$$
- ⇒ **Нормальний атмосферний тиск** становить 760 мм рт. ст., який дорівнює 101 325 Па, тобто приблизно 100 000 Па ( $10^5$  Па).
  - ⇒ **Одна фізична атмосфера** (атм): 1 атм = 101 325 Па.

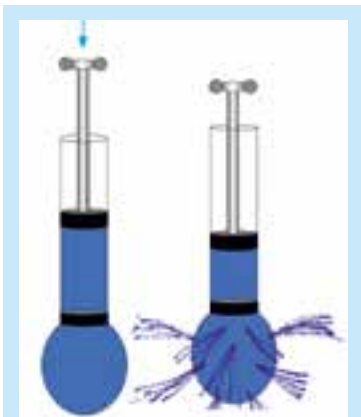


## ВПРАВА 24

1. Як обчислюють тиск?
2. Яка одиниця вимірювання тиску в СІ?
3. В якому напрямку діє сила тиску?
4. Чому лижі менше провалюються в сніг, ніж ноги пішохода?
5. Наведіть приклади, коли тиск краще пояснює явище, ніж сила тиску.
6. Чому площу фундаменту для будівлі намагаються зробити якомога більшою?
7. Як можна швидко змінити свій тиск на поверхню?
8. Навіщо ножі, голки та цвяхи роблять гострими?
9. Яким чином маленькому комарові вдається проколоти шкіру людини?
10. Як можна визначити площу поверхні неправильної форми?
11. Чому перед поїздкою по м'якій ґрунтовій дорозі водій всюдихода зменшує тиск у шинах автомобіля?
12. Як потрібно розташувати на столі сірникову коробку, щоб створений тиск був: **а)** найменшим; **б)** найбільшим? Зробіть малюнок.

13. Розрахуйте тиск (у Па), який створює на дорогу одне колесо чотириколісного вантажного автомобіля масою 8 тонн. Площа дотику колеса з дорогою  $400 \text{ см}^2$ .  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
14. Який тиск здійснює учень, маса якого 60 кг, на підлогу? Загальна площа підошов взуття учня дорівнює  $300 \text{ см}^2$ . Вважайте, що  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
15. На яку площу повинна діяти сила 600 Н, щоб створити тиск 2 400 Па?
16. Площа гострого кінця голки дорівнює  $0,01 \text{ мм}^2$ . Який тиск створює голка під час шиття, якщо на неї діє сила 5 Н?
- \* 17. У скільки разів збільшиться а) сила тиску; б) тиск суцільного кубика на підставку, якщо його лінійні розміри збільшити вдвічі, не змінюючи густину кубика?

## §25. ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ



Мал. 25.1. Сила тиску діє в усіх напрямках

### ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Сила тиску в рідинах і газах діє в усіх напрямках. Це можна продемонструвати простим дослідом (мал. 25.1). Потрібно міцно насадити на шприц м'ячик від настільного тенісу та зробити в ньому голкою ряд симетрично розташованих отворів. Потім наповнити циліндр шприца і м'ячик водою. Якщо натиснути на поршень, то вода бризне з отворів навсідч.

Пояснимо детальніше: спочатку тиск зріс біля поршня, а потім – в усіх інших точках води. Сила тиску біля отворів напрямлена перпендикулярно до поверхні м'ячика, а її величина пропорційна тискові:

$$F_N = p \cdot S \quad (25.1)$$

**Закон Паскаля: тиск у рідинах і газах передається в усі точки й у всіх напрямках однаково.**

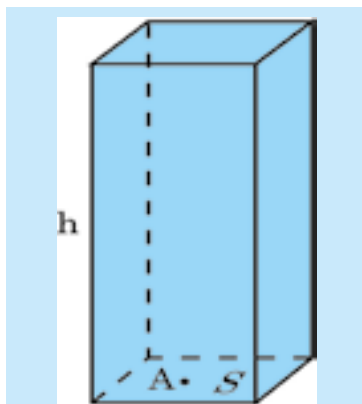
### ТИСК РІДИНИ

Обчислимо тиск у деякій точці А, що знаходиться на глибині  $h$  у рідині, густина якої –  $\rho$ . Подумки виділимо прямокутний стовп рідини висотою  $h$ , який опирається на поверхню площею  $S$  (мал. 25.2). Об'єм виділеної геометричної фігури можна обчислити за формулою  $V = S \cdot h$ . Сила тиску стовпа рідини  $F_N$  дорівнює силі тяжіння, яка діє на всю масу  $m$  рідини виділеного об'єму і може

бути обчислена як  $mg$ . Масу рідини обчислимо за формулою  $m = \rho \cdot V$ . Тоді сила тиску виділеного стовпа рідини становитиме:  $F_N = \rho \cdot S \cdot h \cdot g$ . Тиск рідини на глибині  $h$  згідно з формулою (25.1) становитиме:

$$p = \rho g h \quad (25.2)$$

Це **формула гідростатичного тиску** (гідро-, лат. – вода, статікос, гр. – нерухомий). Щоб отримати за цією формулою тиск у паскалях (тобто в  $\text{Н/м}^2$ ), треба густину виразити в  $\text{кг/м}^3$ , а глибину – в метрах.



Мал. 26.2. Чим вищий стовп рідини  $h$ , тим більший тиск у точці А

### ПРИКЛАД 25.1

Знайдіть тиск стовпа води висотою 10 м. Прийнемо що  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

**Дано:**

$$h = 10 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$p = ?$

**Розв'язання**

Згідно з формулою  $p = \rho g h$ ,

$$p = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м}$$

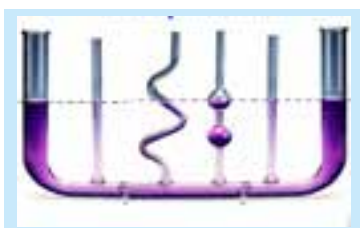
$$\text{Остаточно } p = 100\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 100\,000 \text{ Па}$$

**Відповідь:** тиск стовпа води висотою 10 м становить приблизно 100 000 Па.

## ГІДРОСТАТИЧНИЙ ПАРАДОКС

Зверніть увагу, що *тиск, який створюється стовпом рідини, залежить тільки від густини рідини й висоти стовпа і не залежить від площі, яка скорочується при математичних перетвореннях. Цей результат на перший погляд здається несподіваним, тому його називають гідростатичним парадоксом (парадокс – твердження, яке здається неправильним чи неможливим).*

Тиск рідини не залежить від форми посудини, в якій вона знаходиться, а тільки від висоти стовпа рідини та її густини. Це твердження можна продемонструвати за допомогою сполучених посудин – приладу, що складається з трубок різної форми, з'єднаних між собою і розміщених вертикально, а також перетину (мал. 25.3). Якщо рідина нерухома (статична), то вона в усіх посудинах встановлюється на однаковому горизонтальному рівні. Система водопроводу або чайник – приклади сполучених посудин.



Мал. 25.3. Рівень рідини в сполучених посудинах однаковий

Таблиця 25.1

## Густина деяких рідин

Рідина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Вода	1000	1,00
Олія, машинне масло	900	0,90
Спирт	800	0,80
Ртуть	13 600	13,60
Рідке повітря (при -194°C)	860	0,86



## З ІСТОРІЇ НАУКИ

Паскаль свого часу вразив співгромадян таким привселюдно проведеним дослідом (мал. 25.4). Учений заявив, що порушить герметичність найміцнішої бочки одним кухлем води. Бочка повинна була мати герметичну кришку з латунною вставкою, в якій зроблено отвір із нарізаною різьбою певного діаметру. Її треба було наповнити щерть водою перед початком досліду. Цех бондарів (так називають виробників бочок) прийняв виклик. У визначений день бочка найвищої якості була по вінця наповнена водою і в неї вкрутили трубу висотою декілька метрів. Внутрішній діаметр труби був такий, що туди міг вміститися якраз один кухоль води. На другому поверсі будівлі, поблизу якої проводився дослід, у трубку вставили лійку і влили всю воду, що була в кухлі. На подив присутніх, бочка тріснула по швах, і з неї бризнула вода!



Мал. 25.4. Дослід Паскаля

## ПРИКЛАД 25.2

Давайте з'ясуємо, що сталося в досліді з бочкою. Припустимо, що вона мала форму циліндра (для спрощення розрахунків) висотою  $H = 1$  м і діаметром трохи меншим за 70 см (для того, щоб довжина периметра кришки становила приблизно 2 м ( $L = \pi d$ )). За висоти трубки 3,5 м тиск стовпа води в центрі бочки (додаємо ще 0,5 м) дорівнював:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 4 \text{ м} \approx 40\,000 \text{ Па}.$$

Біля дна тиск трохи більший, біля кришки – менший, середня сила тиску, яка діє на бокову поверхню бочки становитиме:

$$F_N = p \cdot S = 40\,000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 2 \text{ м}^2 = 80\,000 \text{ Н}.$$

З такою силою на опору буде діяти вантаж масою приблизно 8 000 кг, тобто 8 тонн! Дію такої значної сили ні одна дерев'яна бочка не витримає.



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**25.1.** Як можна контролювати горизонтальність заливки фундаменту дачного будинку? Через велику довжину фундаменту звичайний рівень не годиться, зате можна скористатися довгим гумовим шлангом і двома скляними трубками (мал. 25.5).



Мал. 25.5. Шланг і дві трубки

## ГЛИБИННІ АПАРАТИ



### З ІСТОРІЇ НАУКИ

Уперше значні глибинні занурення здійснив швейцарський фізик та інженер Огюст Пікар. Ще з дитинства він захоплювався книгами про морські подорожі. Батискаф, побудований Пікаром, опустився в 1948 році на глибину 1 400 м, витримавши величезний тиск води. 1953 року батискаф «Трієст» досягнув глибини 3 150 м. У 1957 році радянський апарат «Витязь» опустився на глибину 10 022 м. 1960 року «Трієст», із сином Огюста Пікара Жаком на борту, опустився в Маріанську впадину в Тихому океані на глибину 10 916 м. Апарати Пікара були автономними та не потребували троса, який би зв'язував їх із кораблем. Річ у тім, що трос такої довжини не може витримати навіть власної ваги. Будівництво глибинних апаратів вимагає розв'язання дуже складних інженерно-технічних проблем, актуальних і в наш час.



Мал. 25.6. Батискаф – апарат для глибинних занурень

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➞ Тиск у рідинах і газах передається в усі точки і в усіх напрямках однаково (закон Паскаля).
- ➞ Тиск рідини обчислюється за формулою  $p = \rho gh$ .
- ➞ Тиск рідини не залежить від форми посудини (гідростатичний парадокс).



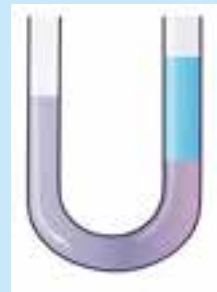
### ВПРАВА 25

1. Як передається тиск у рідинах і газах?
2. За якою формулою розраховується гідростатичний тиск?
3. Від чого залежить тиск стовпа рідини?
4. Як встановлюється рівень рідини в сполучених посудинах?
5. У чому суть гідростатичного парадоксу?

6. Чому батискафи, розраховані на глибоководне занурення, не можна опускати на тросі?
7. Чому в сполучених посудинах рідина встановлюється на однаковому рівні?
8. Чому резервуар із водою в системі водопроводу намагаються встановити якнайвище?
9. Який тиск діяв на батискаф Пікара на глибині 10,9 км?
10. Обчисліть тиск стовпа ртуті висотою 1 м.
11. У скільки разів зміниться тиск рідини на дно циліндричної посудини, якщо туди замість води налити: **а)** таку саму масу ртуті; **б)** такий самий об'єм ртуті?
12. Чому бокові стінки відра (мал. 25.7) розширюються до верху?
13. Акваріум, що має форму куба зі стороною 0,5 м, щерть заповнений водою. Розрахуйте: **а)** масу води в акваріумі; **б)** тиск води на дно; **в)** середню силу тиску на одну стінку.
14. У каструлю, по вінця заповнену водою, опустили важок, який не торкається дна. **а)** Чи зміниться тиск води на дно і стінки? **б)** Розгляньте випадок, коли каструля заповнена не повністю, і вода не виливається.
15. В U-подібній трубці спочатку знаходилася ртуть (мал. 25.8). У праву частину трубки доливають стовпчик води висотою 20 см. **а)** Чому рівень поверхні води у правій частині трубки виявився вищим, ніж рівень ртуті в лівій частині? **б)** Який перепад висот між рівнем поверхні води в правій частині трубки і рівнем ртуті в лівій частині?
16. Рідина повністю заповнює трубу висотою 2 м і внутрішнім діаметром 1 см. Якими будуть вага рідини і тиск на дно, якщо це: **а)** вода; **б)** ртуть; **в)** олія?
17. Порівняйте тиск рідини на дно посудин 1, 2 і 3 (мал. 25.9). Рідина скрізь однакова. Поясніть відповідь.



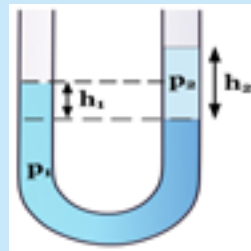
Мал. 25.7



Мал. 25.8



Мал. 25.9



Мал. 25.10

- \* 18. Куля з гвинтівки, якщо летить горизонтально і пробиває у склянці два малих отвори. Якщо склянка повна води, чому потрапляння кулі розірве її на дрібні друзки?
- \* 19. На терезах зрівноважено склянку з водою. Якщо у воду занурити палець, не торкаючись стінок або дна склянки, чому порушиться рівновага? Вода зі склянки не виливається.

- \* 20. У відкриту U-подібну трубку (мал. 25.10) наливо рідину густиною  $\rho_1$ . Після того як у праву частину трубки долили стовчик рідини висотою  $h_2$  і густиною  $\rho_2$ , різниця рівнів рідини  $\rho_1$  стала  $h_1$ . а) Густина якої рідини більша? б) Обчисліть густину рідини  $\rho_2$ , вважаючи відомими величини  $\rho_1$ ,  $h_1$  і  $h_2$ .



**Блез Паскаль (Blaise Pascal, 1623–1662)** – французький математик, механік, фізик, філософ і письменник. Він сформулював закон передачі тиску, відомий нині як закон Паскаля; довів, що тиск рідини на дно посудини не залежить від її форми, а залежить тільки від рівня рідини.

Паскаль створив першу механічну обчислювальну машину (одна з поширених мов програмування Pascal названа на його честь). Було виготовлено біля 50 екземплярів таких машин, навіть налагоджене серійне виробництво.

Паскаль винайшов гідравлічний прес, медичний шприц, запропонував ідею регулярного міського транспорту, що курсує вулицями міст за визначеними маршрутами.

Учений досліджував проблеми вакууму та рівноваги рідин, визначив густину повітря, повторив та вдосконалив досліди з ртутним барометром, встановив, що атмосферний тиск залежить від висоти. Біля свого будинку Паскаль встановив водяний барометр, який дозволяв усім охочим спостерігати за зміною атмосферного тиску.

## §26. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК. ДОСЛІД ТОРРІЧЕЛЛІ

### АТМОСФЕРА

Ми знаходимося на дні повітряного океану, який називається атмосферою (мал. 26.1), а над нами – приблизно стокілометровий шар повітря. Стовп повітря створює тиск завдяки тому, що повітря притягується до Землі. Для розрахунку цього тиску формулу  $p = \rho \cdot h \cdot g$  можна застосувати тільки наближено, причому для не надто великих висот  $h$ , оскільки повітря легко стискається.

Існує просте наближене правило: біля поверхні Землі тиск зменшується на 1 мм рт. ст. при підніманні вгору на кожні 12 метрів.

Ми не помічаємо тиску атмосфери тільки тому, що повітря всередині наших легень має та-



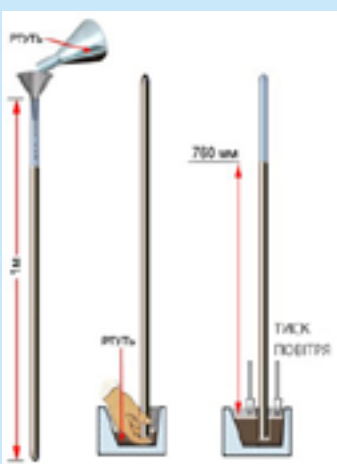
Мал. 26.1. Повітряна оболонка Землі – атмосфера



Мал. 26.2. Аквалангіст дихає стиснутим повітрям



Мал. 26.3. Сила атмосферного тиску зминає коробку



Мал. 26.4. Дослід Торрічеллі

кий самий тиск, а значить, сили тиску ззовні та зсередини врівноважують одна одну.

Зовсім інша справа, коли ви пірнули глибоко у воду. Тиск води настільки великий, що вашу грудну клітину стисне сила, яка не дасть вам вдихнути навіть із аквалангом. Тому аквалангіст дихає стисненим повітрям, тиск якого треба регулювати так, щоб він дорівнював зовнішньому тискові води на тіло (мал. 26.2).



### ДОСЛІД 26.1

Візьміть порожню упаковку від соку і ротом «відкачайте» з неї повітря (мал. 26.3). У певний момент вона «зімнеться». Тиск усередині зменшився, отож зовнішній атмосферний тиск деформує не дуже міцний картон.

## ДОСЛІД ТОРРІЧЕЛЛІ

Повітря здається невагомим, і тому дослід італійського фізика і математика Еванджеліста Торрічеллі (учня Галілея) вразив сучасників. Він заповнив ртуттю запаяну з одного кінця скляну трубку довжиною близько метра. Потім закрив отвір пальцем і, перевернувши трубку, помістив відкритий кінець на невелику глибину в чашку із ртуттю, тримаючи трубку вертикально. Після того, як він відкрив отвір, частина ртуті вилилась, але стовп ртуті висотою приблизно 76 см все одно залишився в трубці (мал. 26.4). У просторі над стовпчиком ртуті нічого не залишилося, там був вакуум або, як це тоді називали, торрічеллієва пустота. Торрічеллі здогадався, що стовп ртуті утримується силою тиску атмосфери. Отже, стовп ртуті висотою 76 см зрівноважує, ніби на шальках терезів, вагу стовпа повітря висотою в сто кілометрів.



### ДОСЛІД 26.2

Наберіть повну скляну пляшку води. Закрийте отвір пальцем, переверніть пляшку і занурте горловину в чашку з водою, притримуючи пляш-

ку іншою рукою. Потім палець заберіть. Вода не виливається зовсім, хоча ви точно повторили дослід Торрічеллі.

Порівняйте густини води та ртуті й спробуйте оцінити, якої довжини повинна бути трубка, щоб дослід Торрічеллі можна було повторити з водою.



### ДОСЛІД 26.3

Занурте скляну трубку (не повністю) у воду і закрийте верхній отвір пальцем. Потім вийміть трубку з води (мал. 26.5). Чому вода не виливається із трубки? Порівняйте тиск повітря в трубці з атмосферним тиском. Відпустіть палець. Чому тепер вода виливається?



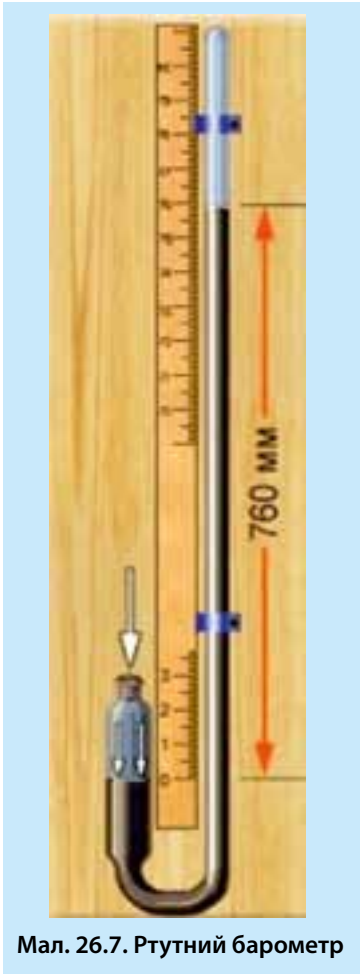
Мал. 26.5. До досліді 26.3

## МАГДЕБУРЗЬКІ ПІВКУЛІ

Щоб продемонструвати землякам силу атмосферного тиску, бургомістр міста Магдебург Отто фон Геріке провів ефектний дослід (мал. 26.6). Це було 1654 року за присутності імператора Фердинанда III. На замовлення Геріке було виготовлено дві добре припасовані одна до одної мідні півкулі, з яких можна було скласти герметичну кулю діаметром 14 дюймів (35,5 см). В одній із півкуль була трубка для відкачування повітря, а кожна з півкуль мала на вершині міцне кільце. Півкулі поєднали та викачали повітря із кулі, яка при цьому утворилася. Для цього використали вакуумний повітряний насос, винайдений тим самим Геріке. Тиск атмосфери настільки сильно стиснув півкулі, що два упряжі по вісім коней у кожному не змогли їх розірвати!



Мал. 26.6. Дослід із магдебурзькими півкулями



Мал. 26.7. Ртутний барометр

## РТУТНИЙ БАРОМЕТР

Прикріпивши поряд з трубкою лінійку (мал. 26.7), Торрічеллі помітив, що рівень ртуті щоденно змінюється. Отже, змінюється тиск атмосфери. Фактично, Торрічеллі виготовив перший прилад для вимірювання атмосферного тиску – **ртутний барометр**. Сьогодні прогноз погоди не обходиться без повідомлення про величину атмосферного тиску, значне зменшення якого може означати наближення сильного вітру або навіть урагану.

Паскаль повторив дослід Торрічеллі та встановив, що атмосферний тиск зменшується залежно від висоти. Поблизу свого будинку він змонтував **водяний барометр** із трубою, висота якої сягала майже 11 м. Вода була підфарбована червоним вином задля зручності спостережень за зміною її рівня.

Оскільки випари ртуті отруйні, ртутний барометр потребує особливо дбайливого поводження. Крім того, він громіздкий. Тому барометр Торрічеллі використовується тільки в лабораторіях. Величину атмосферного тиску традиційно вимірюють у міліметрах ртутного стовпа (мм рт. ст.). Тиск атмосфери, при якому висота стовпчика ртуті в барометрі становить 760 мм, прийнято називати нормальним. Пишуть:  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$  (або  $760 \text{ мм Hg}$ ). Щоб з'ясувати, скільки «паскаль» становить нормальний **атмо-сферний тиск**, по-

трібно скористатися формулою гідростатичного тиску (26.2), підставивши в неї густину ртуті та висоту ртутного стовпчика, виражену в метрах:

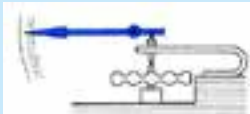
$$p = \rho \cdot g \cdot h = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м} \approx 100\,000 \text{ Н/м}^2 = 100\,000 \text{ Па}.$$

## БАРОМЕТР-АНЕРОЇД

Для вимірювання атмосферного тиску в побуті переважно використовують барометр-анероїд («анероїд» – означає «безрідинний»). Цілком можливо, що ви маєте такий удома (мал. 26.8). Чутливим елементом цього барометра є металева герметична коробочка, в якій тиск повітря дещо менший за атмосферний. Одна стінка кріпиться до корпусу, а інша через систему важелів і зубчастих коліс рухає стрілку приладу.

Чутливість анероїда досить висока – стрілка помітно зміщується, якщо його підняти чи опустити на кілька метрів. Можна проградувати шкалу анероїда безпосередньо в одиницях висоти, й отримаємо висотомір – **альтиметр**. Такими приладами користуються пілоти та альпіністи.

Якщо до стрілки барометра прикріпити перо, яке торкається поверхні барабана, що обертається і на який натягнуто спеціальний папір у клітинку, то отримаємо барограф (мал. 26.9). Барабан обертається за допомогою годинникового механізму і робить один оберт за добу. Прилад дозволяє одержати графік зміни тиску протягом часу.



Мал. 26.8. Барометр-анероїд. Принцип дії



Мал. 26.9. Барограф

### ▶ ПРИКЛАД 26.1

Обчисліть тиск стовпчика ртуті висотою 1 мм (тобто 0,001 м). Прийміть  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

**Дано:**

$$h = 1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$$

$$\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$p = ?$

**Розв'язання:**

Згідно з формулою  $p = \rho g h$ ,

$$p = 13600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

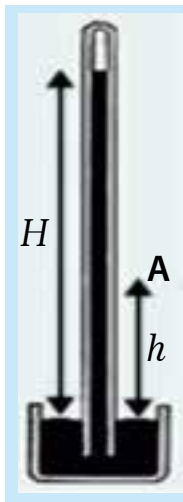
**Відповідь:** тиск стовпчика ртуті висотою 1 мм приблизно дорівнює 133 Па.

### ▶ ПРИКЛАД 26.2

Стовпчик ртутного барометра встановився на висоті  $H$  над рівнем ртуті в чашці (мал. 26.10). Який тиск у ртуті в точці А, що знаходиться на висоті  $h$  над рівнем ртуті в чашці?

**Розв'язання.** Очевидно, що тиск ртуті на рівні поверхні в чашці становить  $\rho \cdot g \cdot H$ . З підніманням угору висота стовпа ртуті зменшується, а значить, зменшується і тиск. В точці А тиск стане меншим за тиск внизу на  $\rho \cdot g \cdot h$ . Отже, тиск ртуті в точці А становить:  $P_A = \rho \cdot g \cdot H - \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (H - h)$ .

**Відповідь.** тиск ртуті в точці А становить  $P_A = \rho \cdot g \cdot H - \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot (H - h)$ .



Мал. 26.10



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

26.1. Спробуйте пояснити, чому в рідинах і газах тиск передається в усіх напрямках, а в твердих тілах – ні.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

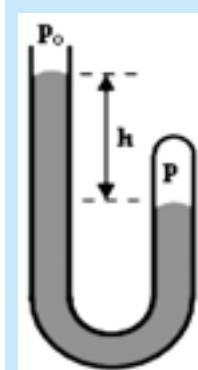
- ➔ Стовпчик ртуті в барометрі Торрічеллі втримується силою атмосферного тиску.
- ➔ Стовп атмосфери висотою 100 км тисне так само, як стовп ртуті висотою 760 мм.
- ➔ Нормальний атмосферний тиск становить  $p_0 = 760$  мм рт. ст. або приблизно 100 000 Па.
- ➔ Одна атмосфера (позасистемна одиниця вимірювання тиску, як і мм рт. ст.): 1 атм = 101 325 Па.



## ВПРАВА 26

1. Чому зминається пластикова пляшка, якщо з неї відкачати повітря?
2. Чому мильна бульбашка має кулясту форму?
3. У чому переваги барометра-анероїда порівняно з ртутним барометром?
4. Що спільного і що відмінного між барометром та альтиметром?
5. Для чого використовують барограф?
6. Чи можна повторити дослід Торрічеллі з трубкою, довжина якої: **а)** менша за 1 м; **б)** більша за 1 м?
7. У яких випадках важливо знати величину атмосферного тиску або характер його зміни?
8. Чому в горах атмосферний тиск менший, ніж на рівні моря?
9. У ванній кімнаті часто прикріплюють до стіни різні предмети за допомогою гумових присосок. Через дію яких сил вони прилипають до поверхні?
10. Як можна за допомогою барометра виміряти висоту будинку?
11. Як змінюється атмосферний тиск при опусканні в глибоку шахту?
12. Чому при швидкому зниженні літака (чи автомобіля на гірській дорозі) виникають неприємні відчуття у вухах?
13. Чому в досліді 26.2 вода не виливається з пляшки?
14. Виразіть у Па тиск стовпчика: **а)** 10 см води; **б)** 1 см ртуті.
15. Біля підніжжя гори барометр показував 754 мм рт. ст., а на вершині – 724 мм рт. ст. **а)** Яка висота гори? **б)** Чому результат розрахунку наближений?
16. Що станеться, якщо у трубці ртутного барометра зробити отвір: **а)** нижче рівня поверхні ртуті; **б)** вище рівня поверхні ртуті?
17. Яку вагу ви повинні зрівноважити, утримуючи рукою пляшку в досліді 26.2, самої пляшки чи пляшки разом із водою, яка знаходиться в ній?
18. Розрахуйте висоту стовпа води у водяному барометрі, що його змайстрував Паскаль, при нормальному атмосферному тиску. Якої довжини трубу треба взяти для такого барометра?

19. Виразіть у Па одиницю вимірювання тиску «1 мм водяного стовпа».
20. Чому пляшка з сильногазованою водою така тверда?
21. Чому піняться «шипучі» напої, якщо різко відкоркувати пляшку?
22. На поршень площею  $6 \text{ см}^2$  діє газ, що перебуває під тиском 10 атм. Яка сила діє на поршень?
23. Розрахуйте приблизне значення тиску в озері на глибині 10 м, якщо  $g = 10 \text{ Н / кг}$ . (Підказка: відповідь 100 000 Па неправильна).
- \* 24. Оцініть масу земної атмосфери, вважаючи відомими нормальний атмосферний тиск і радіус Землі. Площа поверхні кулі обчислюється за формулою  $S = 4 \pi R^2$ , радіус Землі становить 6 400 км.
25. Через який час після початку роботи компресорної станції зросте тиск у трубі газопроводу в місці, що знаходиться на відстані 660 км від станції? Швидкість звуку в газі 330 м/с.
26. Виберіть найбільше значення тиску: а) 750 мм рт.ст.; б) 1 атм; в)  $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .
27. Площа стелі в кімнаті  $20 \text{ м}^2$ . Яка сила тиску і в якому напрямку діє на стелю, якщо тиск повітря становить 100 000 Па?
- \* 28. В U-подібній скляній трубці, запаяній з правого боку, знаходиться ртуть. Визначте тиск повітря  $p$  в правій частині трубки (мал. 26.11).  $p_0$  – атмосферний тиск.
29. У відкритій з одного кінця тонкій трубці знаходиться повітря, яке закрито стовпчиком ртуті довжиною  $h = 4 \text{ см}$  (мал. 26.12). Атмосферний тиск  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ . Який тиск  $p$  (у мм. рт. ст) у випадку, коли: а) трубка горизонтальна; б) трубка розташована вертикально, відкритим кінцем догори; в) трубка розташована вертикально відкритим кінцем донизу?



Мал. 26.11



Мал. 26.12



**Отто фон Геріке (1602–1686, Otto von Guericke).** Народився в м. Магдебург. Німецький фізик, інженер і політичний діяч.

Вивчав природничі науки в університеті міста Лейпциг, право в університеті міста Йена, математику та механіку в м. Лейден. З 1631 року служив інженером в армії шведського короля Густава II. З 1646 по 1681 рік обирався бургомістром Магдебурга та членом магістрату міста Бранденбург.

У 1650 році Отто Геріке сконструював вакуумний насос. Досліди з вакуумом вражали сучасників, оскільки в ті часи вчені стверджували, що пустого місця в просторі в принципі не може існувати. Він виявив, що світло поширюється і в пустоті, а звук – ні. Дзвоник у вакуумі не дзвонив, тварини гинули, свічка гасла, риба роздувалась. Так з'ясувалося, що кисень необхідний для дихання та горіння.

Коли Геріке відкачав насосом повітря з бляшаної коробки, вона була зім'ята атмосферним тиском. Геріке організував показ знаменитого досліду з магдебурзькими півкулями, демонструючи співвітчизникам тиск атмосфери, у який тоді також ніхто не вірив.

Отто фон Геріке винайшов електростатичну машину, з'ясував, що сірка світиться при сильній електризації, тобто відкрив явище люмінесценції.

Геріке також вивчав астрономію і висловив гіпотезу, що комети прилітають до нас з периферії Сонячної системи. Це припущення пізніше підтвердили астрономи-професіонали.

## §27. МАНОМЕТРИ. НАСОСИ. ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРЕС



Мал. 27.1. Металевий манометр

### МЕТАЛЕВИЙ МАНОМЕТР

Манометром називають прилад, призначений для вимірювання тиску зі значеннями, що значно більші чи менші, ніж атмосферний. **Металевий манометр** складається із зігнутої дугою еластичної металевої трубки, один кінець якої запаяний, а інший – з'єднаний із резервуаром, в якому вимірюється тиск. Коли повітря чи інший газ під великим тиском входить у трубку, вона трохи розпрямляється і через систему важелів та зубчастих коліс обертає стрілку приладу за годинниковою стрілкою (мал. 27.1). Якщо тиск у трубці менший, ніж атмосферний, то трубка згортається й обертає стрілку в протилежному напрямку. Таким манометром, наприклад, вимірюють тиск у камерах автомобільних коліс.

### РІДИННІ МАНОМЕТРИ

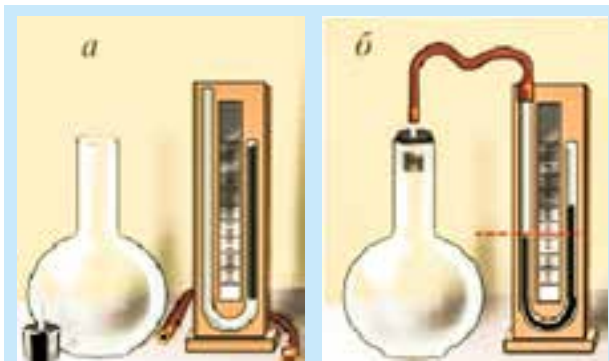
Рідинні манометри дозволяють вимірювати тиск із більшою точністю, ніж металеві. Вони подібні до вигнутої літерою U скляної трубки, дві сторони якої називають, відповідно, лівим і правим колінами манометра. У трубку наливають рідину. Як правило, це ртуть, але використовуються і водяні манометри. Одне коліно манометра з'єднують трубою з резервуаром, в якому треба виміряти тиск, а інше залишають відкритим, і на поверхню рідини в трубці діє тиск атмосфери (це так званий *відкритий манометр*).

Розглянемо випадок, коли рівень рідини в правому коліні манометра вищий, ніж у лівому (мал. 27.2). Це означає, що тиск «*p*» у балоні більший, ніж ат-

мосферний на величину  $\rho \cdot g \cdot h$ , тобто  $p = p_a + \rho \cdot g \cdot h$ , де  $p_a$  – атмосферний тиск, а  $\rho$  – густина рідини в манометрі. Якщо рівень рідини у правому коліні нижчий, то тиск у балоні менший, ніж атмосферний, на величину  $\rho \cdot g \cdot h$ .



Мал. 27.2. Відкритий рідинний манометр

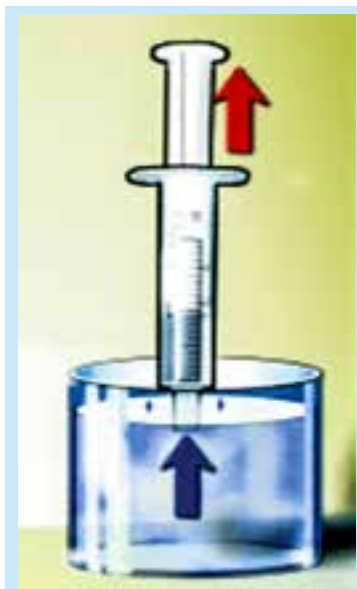


Мал. 27.3. Закритий манометр міряє малі тиски

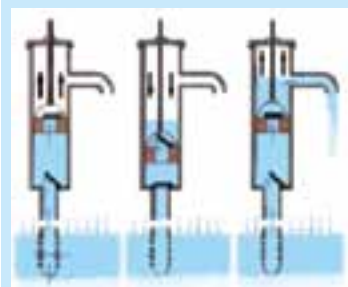
У манометра, який призначений для вимірювання дуже малих тисків, праве коліно запаяне та повністю заповнене рідиною перед початком вимірювань (мал. 27.3а) – це так званий *вкорочений манометр*. На мал. 27.3б над ртуттю у правому коліні – вакуум, тому тиск у колбі дорівнює надлишковому тиску стовпчика ртуті над лінією рівноваги (пунктир), тобто  $\rho \cdot g \cdot h$ .

## ЧОМУ ВОДА РУХАЄТЬСЯ ЗА ПОРШНЕМ

Набираючи в шприц воду, стежите за тим, як вона піднімається за поршнем (мал. 27.4). Люди кілька тисячоліть не могли зрозуміти цього явища! Давньогрецький учений Аристотель пояснював його так: коли поршень рухається вгору по трубці насоса, під ним утворюється пустота, яку вода змушена заповнити. Люди тоді просто не могли собі уявити, що може існувати нічим не заповнений простір (тобто вакуум). Як з'ясувалося після дослідів Торрічеллі, Паскаля і Геріке, воду «втискає» під поршень сила атмосферного тиску, яка діє на вільну поверхню води в посудині та передається в усі точки й у всіх напрямках, зокрема – вгору. Коли почали закачувати воду на велику висоту, виявилось, що природа «боїться» пустоти лишень до висоти, яка приблизно становить 10,5 м, а далі «відмовляється» йти за поршнем, оскільки сила тиску стовпа води врівноважує силу атмосферного тиску.



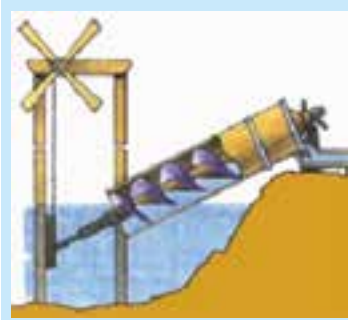
Мал. 27.4. Вода рухається за поршнем насоса, бо її туди «втискає» сила атмосферного тиску



**Мал. 27.5.** Клапани водяної помпи пропускають воду вгору і не дають їй «втекти» вниз

## ПОРШНЕВІ НАСОСИ

Розглянемо конструкцію і принцип дії водяного насоса – звичайної ручної водяної помпи. Він складається з циліндра з поршнем і двох клапанів (мал. 27.5). Вхідний клапан знаходиться у верхній частині труби, яка з'єднує насос із водоносним шаром ґрунту і впускає воду вгору за ходом поршня, але не випускає назад при русі поршня вниз. Другий клапан знаходиться в поршні та пропускає воду вгору, коли поршень рухається вниз. При наступному ході поршня вгору верхній клапан закривається, і частина води, яка знаходиться над ним, виливається у відро.

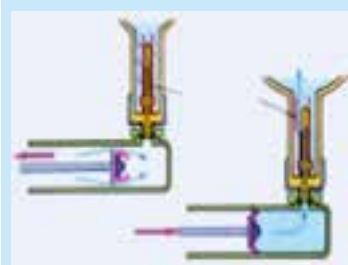


**Мал. 27.6.** Гвинт Архімеда дозволяє перекачувати пульпу (суміш глини і води)

## ЦІКАВО ЗНАТИ

Цікаву конструкцію насоса винайшов Архімед (мал. 27.6). «Гвинт Архімеда» знаходиться у трубі, один кінець якої треба опустити у воду. При обертанні гвинта в певному напрямку вода починає підніматися вгору по трубі. За таким самим принципом працює домашня ручна м'ясорубка.

## ПОВІТРЯНІ НАСОСИ І КОМПРЕСОРИ



**Мал. 27.7.** Велосипедний насос

Щоб накачати повітря у футбольний м'яч, камеру велосипеда чи автомобіля, використовують *повітряні насоси* (мал. 27.7). Потрібно накачати в камеру повітря до певного тиску і зробити так, щоб воно назад із камери не виходило. Шкіряний поршень насоса розпирає при нагнітанні повітря. Тоді краї поршня міцно притискуються до стінок циліндра і не дають повітря «втекти». При зворотному ході поршня тиск у циліндрі зменшується, бо клапан не випускає повітря з камери. Краї шкіри зминаються, і повітря знову заповнює простір під поршнем. Для кращої герметизації поршень і стінки циліндра повинні бути

змащені спеціальним мастилом. Простір під поршнем через систему вентилів і трубочок з'єднаний зі *штуцером* (трубка, до якої приєднують шланг насоса при накачуванні камери).



### ДОСЛІД 27.1 «ДОСЛІДЖЕННЯ ВАКУУМУ»

Закрийте отвір шприца (без голки) пальцем і потягніть за ручку поршня. Що ви відчуваєте, тримаючи ручку рукою? Відпустіть поршень, і він різко повернеться на попереднє місце. Поясніть дослід.

**Поршневий компресор** (від латинського *compressus* – стиснутий) – це нагнітальний повітряний насос, поршень якого приводиться в дію двигуном. Він використовується для подачі стисненого повітря у пневматичні інструменти. Ви, напевно, бачили (і чули!), як працюють пневматичний молоток чи викрутка. За допомогою компресора накачують автомобільні шини, переганяють природний газ у газопроводах, розпилюють фарбу пульверизатором. Спеціальний кривошипно-шатунний механізм рухає поршень компресора «туди-сюди», а два клапани – впускний і випускний – змушують повітря рухатися в потрібному напрямку (мал. 27.8).



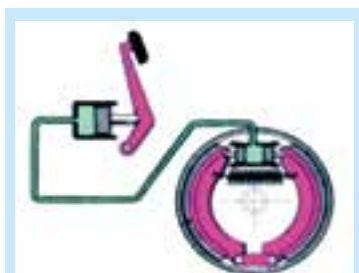
Мал. 27.8. Поршневий компресор

## ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРЕС

Гідравлічні пристрої, наприклад, гідропідсилювач керма в автомобілі, широко застосовуються в сучасній техніці. Із назви зрозуміло, що йдеться про пристрої, які використовують рідину і багатократно підсилюють початкову дію. Легко натиснувши на гідравлічне гальмо (мал. 27.9), можна зупинити вантажний автомобіль чи поїзд. Гідравлічний підйомник піднімає й утримує автомобіль (мал. 27.10). Гідравлічний прес штампує будь-який профіль, навіть із товстого сталевго листа.

Усі ці машини і механізми діють за єдиним принципом – принципом гідравлічного преса, винайденого Паскалем. Гідравлічний прес складається з двох циліндрів із різними діаметрами (мал. 27.11). Усередині циліндрів рухаються поршні. Циліндри герметично з'єднані між собою і заповнені рідиною (як правило, мінеральним маслом).

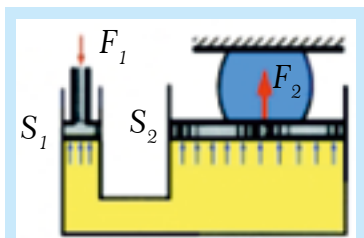
Нехай на менший поршень площею  $S_1$  діє сила  $F_1$ . Поршень тисне на рідину, створюючи в ній тиск  $p = F_1/S_1$ .



Мал. 27.9. Гідравлічне гальмо автомобіля



Мал. 27.10. Гідравлічний підйомник



Мал. 27.11. Схема будови гідравлічного пресу

За законом Паскаля цей тиск передається в усі точки рідини. Тоді на другий поршень, площа якого більша й дорівнює  $S_2$ , діятиме сила  $F_2 = p \cdot S_2 = F_1 \cdot S_2/S_1$ .

Отже, зусилля, яке розвиває другий поршень, у стільки разів більше від початкового, у скільки разів площа більшого поршня більша за площу малого поршня:

$$F_2/F_1 = S_2/S_1 \quad (27.1)$$

У потужних гідравлічних машинах малий поршень є частиною насоса, який швидко накачує рідину в циліндр із великим поршнем. Якщо замінити в пресі рідину на повітря, він теж працюватиме. Такі пристрої називають **пневматичними**. Оскільки повітря легко стискається, то пневматичні гальма діють «м'якше». У громадському транспорті двері відчиняються і зачиняються пневматичними пристроями, тому ви не постраждаєте, навіть якщо опинитесь у їх «полоні».

**Сервоскелет** – досить екзотичний пристрій, який складається з гідравлічних трубок із поршнями і має вигляд скелета. Ви вдягаєте цю конструкцію на себе – і кожен ваш рух повторюється і підсилюється в багато разів. Можна, наприклад, підійти до багатотонної вантажної машини і підняти її «руками».



### ДОСЛІД 27.2 «ПОБУДОВА МОДЕЛІ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРЕСА»

З'єднайте отвори двох одноразових шприців різного діаметру пластиковою трубкою (мал. 27.12). Спочатку проведіть досліди з повітрям. Натисніть на менший за діаметром поршень. Який із поршнів легше рухати? Котрий з них переміщується на більшу відстань? Потім наберіть в систему воду і повторіть досліди.



Мал. 27.12. Модель пресу



### ТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 27.1. Опишіть роботу серця як насоса. Як відбувається нагнітання крові в судини і як працюють серцеві клапани? Як регулюється частота, з якою б'ється серце? Як вимірюють артеріальний тиск?
- 27.2. За яким принципом діє гідравлічний домкрат?

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Манометри використовують для вимірювання тисків, значно більших або менших за атмосферний.

- Вода рухається в трубі за поршнем насосу, тому що її туди «вганяє» атмосферний тиск.
- Гідравлічний прес підсилює дію у стільки разів, у скільки площа великого поршня більша за площу малого поршня:  $F_2/F_1 = S_2/S_1$ .



### ВПРАВА 27

1. Яке призначення манометрів?
2. Чому вода рухається за поршнем насоса?
3. Як діє велосипедний насос?
4. Чи працюватиме у вакуумі поршневий рідинний насос?
5. Для чого потрібні компресори?
6. Які інструменти називають пневматичними?
7. Із яких основних частин складається гідравлічний або пневматичний підсилювач?
8. За рахунок чого відбувається підсилення вихідної дії в гідравлічному пресі та у скільки разів?
9. Чому в гідравлічному пресі використовують рідину, а не повітря?
10. Як із повітряного нагнітального насоса зробити насос, який створює вакуум?
11. Рівень води у відкритому коліні манометра на 20 см вищий за рівень води в коліні, що приєднане до балона (мал. 27.2). Який тиск у балоні? Атмосферний тиск – 100 000 Па,  $g = 10$  Н/кг.
12. Рівень води у відкритому коліні водяного манометра на 15 см нижчий за рівень води в коліні, що приєднане до балона. Який тиск у балоні? Атмосферний тиск – 100 000 Па,  $g = 10$  Н/кг.
13. У приєднаному до резервуара коліні вкороченого ртутного манометра рівень на 2 см нижчий, ніж у запаяній частині трубки (мал. 27.3 б). Який тиск у колбі? Атмосферний тиск становить  $p_0 = 100\,000$  Па, густина ртуті  $13\,600$  кг/м<sup>3</sup>,  $g = 10$  Н/кг.
14. Чи може рівень ртуті у закритій частині вкороченого манометра бути нижчим, ніж у під'єднаній до колби (мал. 27.3 б).
15. При атмосферному тиску, що дорівнює 750 мм рт. ст., манометр показує тиск у шинах автомобіля в 3,4 рази більший, ніж атмосферний. Яка сила діє на кожні 100 см<sup>2</sup> поверхні шини?
16. Чому за допомогою поршневого насоса можна підняти воду тільки до висоти близько 10,5 м і не вище? Придумайте декілька способів підняти воду за допомогою поршневого насоса на висоту 20 м і більше.
17. Об'єм повітря в циліндрі компресора зменшився утричі. Як при цьому змінилася густина повітря?
18. Який тиск в озері на глибині 40 м? Атмосферний тиск 100 000 Па,  $g = 10$  Н/кг.
19. У гідравлічному пресі площа малого поршня становить 5 см<sup>2</sup>, а великого – 1 м<sup>2</sup>. Який максимальний виграш у силі може дати цей прес?
20. Малий поршень гідравлічного преса опускається на 25 см за один хід, а великий при цьому піднімається на 5 мм. Яку силу розвиває великий поршень, якщо на малий діє сила 200 Н? Виберіть правильну відповідь: а) 1000 Н; б) 400 Н; в) 10 000 Н; г) 40 Н.

## §28. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА

### ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА

Спробуйте занурити м'яч у воду. Ви відчуєте досить значну протидію сили, яка намагатиметься його звідти виштовхнути. Виявляється, що на тіла, які тонуть, також діє виштовхувальна сила. На повітряні кулі, які наповнені гарячим повітрям або гелієм, діє виштовхувальна сила навколишнього повітря, завдяки якій вони літають.



#### ДОСЛІД 28.1

Підвісьте до динамометра тіло, що тоне, наприклад, велику батарейку або коробочку від фотоплівки, наповнену монетами, і запам'ятайте показники приладу. Потім опустіть тіло у воду (мал. 28.1). Стрілка динамометра покаже меншу силу. Різниця показників динамометра дорівнює виштовхувальній силі, яку називають силою Архімеда і позначають  $F_A$ .

**Закон Архімеда:** на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору і дорівнює вазі рідини, що витіснена цим тілом.

Для тіл, «занурених» у газ, виштовхувальна сила значно менша, ніж для занурених у рідину.

Закон Архімеда можна виразити формулою. Якщо густину рідини позначити  $\rho_p$ , а об'єм тіла – літерою  $V$  і вважати, що тіло повністю занурилося, то об'єм витісненої рідини дорівнює об'єму тіла. Знайдемо масу витісненої рідини:  $m_p = \rho_p \cdot V$ . Вага витісненої рідини дорівнюватиме  $P = \rho_p \cdot V \cdot g$ . Отже, силу Архімеда можна обчислити за формулою:

$$F_A = \rho_p \cdot g \cdot V \quad (28.1)$$

### ЧОМУ ВИНИКАЄ ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА

Спочатку пояснимо виникнення виштовхувальної сили у випадку, коли тіло має форму паралелепіпеда або циліндра (мал. 28.2а), площу верхньої і нижньої грані яких позначимо літерою  $S$ , а висоту – літерою  $H$ . На мал. 28.2б



Мал. 28.1. Вага зануреного в рідину тіла зменшується

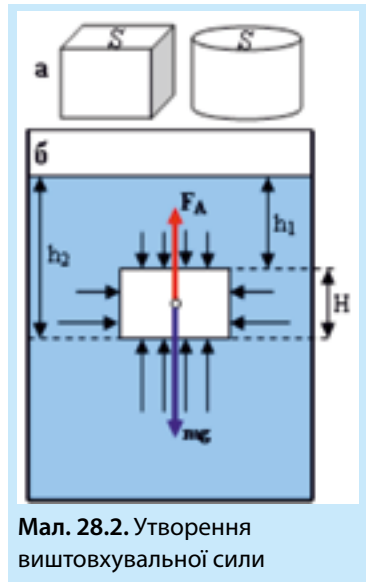
накреслено тільки вертикальний переріз тіла, зануреного в рідину. **Сили тиску**, що діють на поверхню тіла з боку рідини, зображені чорними стрілочками. Приведемо основні логічні кроки наших міркувань:

1. Сили тиску діють перпендикулярно до поверхні.

2. Чим більша глибина, тим сильніше рідина тисне на поверхню тіла.

3. Сили тиску на бокову поверхню тіла врівноважені, і їх можна не брати до уваги (за умови, що тіло не стискається).

4. Сили тиску, що діють на нижню частину тіла, направлені вгору, і вони більші за сили тиску, які діють на верхню частину униз. Різниця цих сил діє вгору – це і є **причиною виникнення виштовхувальної сили**.



Мал. 28.2. Утворення виштовхувальної сили

## ОБЧИСЛЕННЯ ВИШТОВХУВАЛЬНОЇ СИЛИ

1. Сила тиску на **нижню грань** дорівнює добутку тиску **стовпа рідини** висотою  $h_2$  на площу грані  $S$ :  $F_2 = \rho_p g h_2 \cdot S$  і направлена вертикально **вгору**.

2. Сила тиску на **верхню грань** дорівнює добутку тиску стовпа рідини висотою  $h_1$  на площу грані  $S$ :  $F_1 = \rho_p g h_1 \cdot S$  і направлена вертикально **вниз**.

3. Рівнодійна двох протилежних сил  $F_1$  і  $F_2$  дорівнює їх різниці і направлена в сторону більшої сили, тобто вертикально вгору – це і є **сила Архімеда**:  $F_A = F_2 - F_1$ .

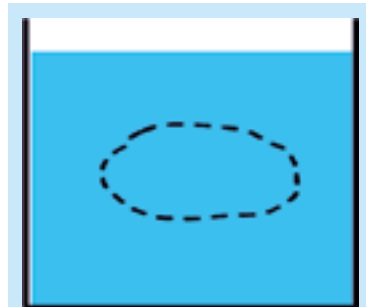
4. Підставляємо значення сил:  $F_A = \rho_p g h_2 \cdot S - \rho_p g h_1 \cdot S$ . Однакові величини можна винести за дужки:  $F_A = \rho_p g \cdot S \cdot (h_2 - h_1)$ . Помічаємо, що  $h_2 - h_1 = H$ . Отже:  $F_A = \rho_p g h \cdot H$ .

5. Добуток  $S \cdot H$  – це об'єм тіла й одночасно – об'єм витісненої рідини:  $V = S \cdot H$ , тобто  $F_A = \rho_p g \cdot V$  – ми отримали формулу (28.1).

6. Добуток густини рідини на об'єм витісненої рідини – це її маса:  $m_p = \rho_p V$ , а добуток маси рідини на  $g$  дорівнює її вазі. Таким чином, **величина виштовхувальної сили дорівнює вазі витісненої рідини**:  $F_A = m_p g$ .

### ЛОГІЧНЕ ДОВЕДЕННЯ ФОРМУЛИ (28.1).

Уявимо, що ми залишили тільки невагому поверхню-оболонку даного тіла (пунктирна лінія), і заповнили її тією ж рідиною, в якій воно плаває (мал. 28.3). Але певний об'єм рідини, який знаходиться в тій самій рідині, перебуває в рівновазі.



Мал. 28.3

Це означає, що сила тяжіння, яка діє на рідину всередині оболонки, врівноважується виштовхувальною силою, яка виникла за рахунок сил тиску з боку рідини на поверхню тіла.

Отже, виштовхувальна сила дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла і направлена протилежно до неї, тобто вертикально вгору.



### ДОСЛІД 28.2

Занурте у півлітрову банку з водою очищену картоплину. Вона потоне. Розчиняйте сіль у воді, поки картоплина не спливе. Потім додайте води, поки картопля знову не потоне. Поясніть ці явища.



Мал. 28.4. Парадокс Архімеда: корабель може плавати в малій кількості води

## ПАРАДОКС АРХІМЕДА

Сила Архімеда, що діє на корабель, дорівнює вазі витісненої ним води. Але кількість води, в якій корабель плаває, може бути значно меншою, ніж кількість води, яку він повинен витіснити, щоб плавати. Дослід, який пояснює цей парадокс, зображено на мал. 28.4. Подібна ситуація трапляється, коли корабель перебуває в шлюзі (мал. 28.5).



Мал. 28.5. Корабель у шлюзі

## ГІДРОСТАТИЧНЕ ЗВАЖУВАННЯ

Гідростатичним називають **зважування тіла, зануреного в рідину**. Виштовхувальна сила (мал. 28.6) дорівнює різниці ваги тіла в повітрі ( $F_1$ ) і в рідині ( $F_2$ ):

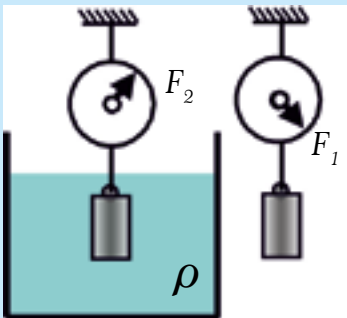
$$F_A = F_1 - F_2. \quad (28.2)$$

З іншого боку,  $F_A = \rho \cdot V \cdot g$ , а вага тіла в повітрі дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло, тобто:  $F_1 = m_T g = \rho_T V g$ . Підставивши два останніх вирази у формулу (28.2), отримуємо:

$$\rho_p V g = \rho_T V g - F_2 \quad (28.3)$$

Формула (28.3) дозволяє обчислити густину тіла, якщо відомі густина рідини й об'єм тіла. Гідростатичне зважування дозволяє також визначити густину рідини при відомій густині тіла.

**Зауваження.** Ми не враховували при отриманні формул виштовхувальну силу повітря, яка в таких дослідах набагато менша за сили  $F_1$  і  $F_2$ .

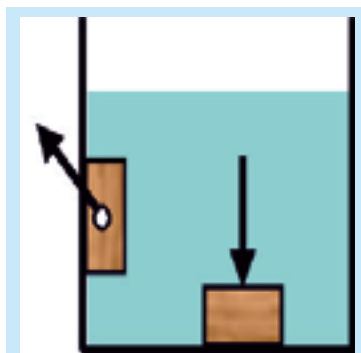


Мал. 28.6. Гідростатичне зважування

## ОСОБЛИВІ ВИПАДКИ

1. Траплялися випадки, коли підводний човен опускався на глинисте дно і більше не міг піднятися, через що гинув екіпаж. Так ставалося тому, що за відсутності дії сили тиску води на дно тіла виштовхувальна сила не виникає. Навпаки, сили тиску в такому випадку притискають тіло до дна (мал. 28.7).

2. Якщо тіло прилипло до стінки посудини, то виштовхувальна сила вже не діє вертикально вгору (в такому становищі перебувають равлики, які повзають по стінці акваріуму).



Мал. 28.7. Особливі випадки



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

28.1. Однією з проблем точного зважування є те, що у повітрі на тіла діє виштовхувальна сила. Ця сила діє на зважуване тіло і на важки. Опишіть два способи вирішення цієї проблеми – знайдіть їх.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору та чисельно дорівнює вазі рідини, що витіснена цим тілом.
- ➔ Сила Архімеда виникає через дію на поверхню тіла сил тиску з боку рідини чи газу. Ця сила не залежить від того, що знаходиться всередині тіла.



### ВПРАВА 28

1. Куди напрямлена сила Архімеда?
2. Яка причина виникнення виштовхувальної сили?
3. Чи діє сила Архімеда на тіла, які тонуть?
4. Яка величина сили Архімеда?
5. Яка сила піднімає повітряну кулю?
- \* 6. Як довести, що виштовхувальна сила напрямлена вертикально вгору?
- \* 7. Чому мильні бульбашки влітку опускаються вниз, а взимку – піднімаються догори?
8. Чому кит гине, якщо його викидає на берег?
9. Одне з племен у басейні Амазонки якось зіткнулося з такою проблемою. Треба було навантажити в човен стільки золота, скільки важив священний гіпопотам, який скубав траву на зеленім моріжку неподалік від берега. Як це можна було б зробити?
10. Два занурених в рідину тіла мають однаковий об'єм, але різні форму і масу. Як відрізняються діючі на них виштовхувальні сили?

- \* 11. Через дію виштовхувальної сили повітря маса тіла, зваженого на терезах, дещо відрізняється від його справжньої маси – у більший чи менший бік?
- 12. Що важить більше: тонна заліза чи тонна дерева?
- 13. Якщо підводний човен «сяде» на м'яке глинисте дно, він уже не зможе піднятися. Куди поділася сила Архімеда?
- \* 14. Чи відрізняються виштовхувальні сили, що діють на батискаф на глибині 100 м і 10 000 м?
- 15. Каструля по вінця заповнена водою. Який об'єм води виллється, якщо в неї помістити тіло об'ємом 0,5 л та масою: а) 0,4 кг; б) 0,6 кг? Тіло повністю поміщається в посудину.
- \* 16. Алюмінієве тіло масою 54 г підвісили до динамометра. Якими будуть показники динамометра, якщо: а) тіло знаходиться в повітрі; б) тіло занурене у воду? Густина алюмінію становить 2,7 г/см<sup>3</sup>. Ціна поділки динамометра – 0,1 Н.
- 17. Знайдіть об'єм шматка заліза, який у воді важить 13,6 Н. Густина заліза – 7,8 г/см<sup>3</sup>.
- 18. а) Обчисліть виштовхувальну силу, що діє на коробку від фотоплівки (мал. 28.1). б) Обчисліть середню густину коробки разом з монетами, що знаходяться всередині, якщо її діаметр становить 3,1 см, а висота – 4,8 см. Вважайте коробку циліндром.
- 19. На важелі, який знаходиться в повітрі, зрівноважили алюмінієву та залізну кулі однакових об'ємів, підвісивши їх на нитках. Чи порушиться рівновага важеля, якщо обидві кулі занурити в рідину?
- 20. В якому напрямку і чому діє виштовхувальна сила на тіло, яке прилипло до бокової стінки посудини і знаходиться під водою? Поясніть відповідь за допомогою малюнка.
- \* 21. Суцільне однорідне тіло, занурене у рідину густиною  $\rho_1$ , важить  $F_1$ , а в рідині густиною  $\rho_2$  його вага становить  $F_2$ . Визначте густину речовини, з якої зроблено тіло.
- \* 22. В одну з двох однакових циліндричних сполучених посудин, частково заповнених водою, помістили дерев'яну кульку масою 20 г. При цьому в другій посудині рівень води піднявся на 2 мм. Чому дорівнює площа поперечного перерізу одного з циліндрів?
- 23. Крижина масою 100 кг плаває у воді. Яка маса льоду знаходиться над водою? Густина льоду  $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$ , густина води  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

## §29. УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

Ріками, озерами, морями й океанами ходять катери, яхти, торговельні та пасажирські кораблі, танкери, крейсери, криголами, авіаносці... Усі вони мають бути сконструйовані так, щоб триматися на поверхні води та витримувати непогоду й навіть шторм. Підводні човни повинні плавати як на поверхні, так і під водою. Отож, розглянемо умови плавання тіл.

### УМОВИ ПЛАВАННЯ

Коли корабель плаває на поверхні води, його вага точно зрівноважена виштовхувальною силою, що дорівнює вазі води, витісненої зануреною частиною корабля, яка знаходиться нижче від ватерлінії (верхня границя червоної смуги мал. 29.1). Маса витісненої кораблем води називається його тоннажністю.

У тіла, яке плаває на поверхні, у воду занурена тільки деяка частина його об'єму. Незалежно від того, занурене це тіло мало чи сильно, виштовхувальна сила дорівнює силі тяжіння (мал. 29.2), тобто обидві сили, що діють на тіло, – врівноважені. Якщо натиснути на тіло, що плаває, воно зануриться глибше, але виштовхувальна сила зростає, і після того, як ми перестанемо на нього тиснути, воно знову спливе. Отже, тіло плаватиме (чи спливатиме), якщо виштовхувальна сила більша за силу тяжіння або принаймні дорівнює силі їй:

$$F_A \geq m_T g, \quad (29.1)$$

де  $m_T$  – маса тіла.

Розглянемо граничний випадок, коли тіло повністю занурилося у рідину, але знаходиться в завислому стані, тобто не тоне і не спливає. Оскільки тепер  $F_A = m_p g$ , можна записати, що  $\rho_p \cdot V \cdot g = \rho_T V_T g$ , або після скорочення однакових величин:

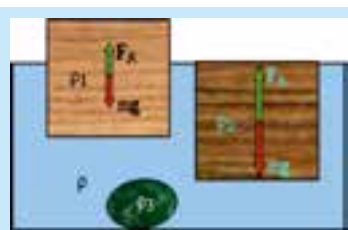
$$\rho_p = \rho_T \quad (29.2)$$

Виявляється, все залежить тільки від співвідношення між густиною тіла  $\rho_T$  і густиною рідини  $\rho_p$ : *тіло тоне, якщо його густина більша, ніж густина рідини, в яку воно занурене.*

*Аналогічно: тіло плаває, якщо його густина менша від густини рідини.*



Мал. 29.1. Ватерлінія корабля



Мал. 29.2. Якщо тіло плаває, сила Архімеда врівноважена силою тяжіння

**Якщо густина тіла дорівнює густині рідини, то воно може знаходитися на довільній глибині в завислому стані.**

### ▶ ПРИКЛАД 29.1

Тіло масою 200 г плаває у воді. Яку масу води витісняє тіло?

**Розв'язання.** Оскільки тіло плаває, його вага дорівнює вазі витісненої води. Таким чином, маса тіла і маса витісненої рідини – також рівні.

**Відповідь:** тіло, яке плаває, витісняє масу води, яка дорівнює масі тіла.

### ▶ ПРИКЛАД 29.2

Тіло плаває у воді, занурившись на  $\frac{2}{5}$  свого об'єму у воду. Яка густина тіла?

**Розв'язання.** З таблиць відомо, що густина води дорівнює  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

Позначимо об'єм тіла  $V$ , густину тіла  $\rho_m$ , густину води  $\rho_B$ . Тоді об'єм витісненої води становить  $\frac{2}{5}V$ . Маса тіла  $m_T = \rho_m \cdot V$  повинна бути такою самою, як маса витісненої води  $m_B = \rho_B \cdot \frac{2}{5}V$ , оскільки тіло плаває. Отже:  $\rho_T \cdot V = \rho_B \cdot \frac{2}{5}V$ , звідки  $\rho_T = \frac{2}{5}\rho_B$ .

**Відповідь:** густина тіла становить  $\frac{2}{5}$  густини води, тобто  $\rho_T = \frac{2}{5}\rho_B$ .



### ДОСЛІД 29.1 «КАРТЕЗІАНСЬКИЙ ВОДОЛАЗ»

Цей дослід придумав французький фізик, математик і філософ Рене Декарт (прізвище Декарта латиною звучить як Картезіус). Візьміть піпетку і наберіть в неї стільки води, щоб вона ледь плавала (мал. 29.3). Потім помістіть піпетку у пластикову пляшку, наповнену на три чверті свого об'єму водою і щільно закрутіть кришку. Якщо ви стиснете пляшку, піпетка почне тонути, і ви зможете, змінюючи тиск на пляшку, рухати піпетку вниз чи вгору або тримати її нерухомою на певній глибині.

Зверніть увагу, що при стисканні пляшки (збільшенні тиску повітря), рівень води в піпетці підвищується, тобто в піпетку заходить вода, а при зменшенні тиску в пляшці вода з піпетки виходить.



**Мал. 29.3.** «Картезіанський водолаз», зроблений з піпетки і пластикової пляшки

Навчіться опускати і піднімати «водолаза», а також утримувати його в завислому стані між дном і поверхнею води.

- Чому при стисканні пляшки водолаз занурюється?
- Чи залежить результат досліду від місця, у якому ви стискаєте пляшку?
- У якому місці пляшки знаходиться піпетка, коли вона здається збільшеною?



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**29.1.** Опустіть «картезіанського водолаза» на глибину 2–3 см і різко перестаньте тиснути на пляшку. При спливанні піпетка «вдариться» об поверхню води і змінить напрямку руху, тобто поверхня води поводить себе як пружна плівка (якщо дослід не вдається, зменшіть глибину занурення). Поясніть що відбувається з поверхнею води в цьому досліді.

**29.2.** З фольги виготовте баржу і дослідіть, за якої конструкції вона витримує найбільшу вагу.

## ПІДВОДНИЙ ЧОВЕН

Підводний човен (мал. 29.4) може змінювати свою густину. Усередині човна є баластні цистерни; якщо туди набрати воду, то густина човна стає більшою за густину води, і він починає занурюватися. Для того, щоб човен почав спливати, потрібно «продути баласт», тобто витіснити за допомогою стисненого повітря з цистерн воду за межі човна. Тоді густина човна знову стає меншою за густину води. Рухаючись під водою, човен маневрує за допомогою керма глибини та керма поворотів, які діють подібно до крил літака.



**Мал. 29.4.** Якщо тіло плаває, сила Архімеда врівноважена силою тяжіння

## ПОВІТРОПЛАВАННЯ

Повітряні кулі (мал. 29.5) літають, тому що в повітрі також діє виштовхувальна сила. Оскільки густина повітря невелика, то й сила Архімеда мала. Для людини середнього зросту й статури (маса 70 кг, вага – приблизно 700 Н) виштовхувальна сила становить близько 1 Н, що в 700 разів менше за її вагу.

Щоб повітряна куля могла піднятися, вона повинна мати великий об'єм, також її потрібно



**Мал. 29.5.** Монгольф'єр наповнюють гарячим повітрям

наповнити газом, густина якого менша за густину повітря (водяна пара, гаряче повітря, водень або гелій). Піднімальна сила, що діє на кулю, повинна бути більшою за вагу газу, яким вона наповнена, а також оболонки і вантажу, який піднімають.

### ► ПРИКЛАД 29.3

Повітряна куля об'ємом  $V$ , яка заповнена газом густиною  $\rho$ , витісняє такий самий об'єм повітря густиною  $\rho_0$ . Знайдемо величину піднімальної сили повітряної кулі. Масою оболонки можна знехтувати.

Піднімальна сила дорівнює різниці сили Архімеда  $F_A = \rho_0 \cdot g \cdot V$  і ваги газу  $\rho V g$ , що заповнює кулю:

$$F = \rho_0 \cdot g \cdot V - \rho \cdot g \cdot V = (\rho_0 - \rho) \cdot g \cdot V \quad (29.3)$$

Із формули (29.3) видно, що, чим менша густина газу, яким заповнюють кулю, і чим більший об'єм кулі, тим більша піднімальна сила.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Якщо тіло плаває, то виштовхувальна сила дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло.
- ➔ Тіло тоне, якщо його густина більша за густину рідини, в яку воно занурене, і плаває, якщо його густина менша за густину рідини.



### ВПРАВА 29

1. Яка умова того, що тіло: **а)** плаває; **б)** тоне?
2. Яку масу води витісняє корабель?
3. Якими газами слід наповнювати повітряні кулі?
4. За якої умови піпетка в досліді 29.2 «зависне» у воді всередині пляшки?
5. Яке призначення підводних човнів?
6. Порівняйте густину тіл  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  і  $\rho_3$  з густиною рідини  $\rho$ , в якій вони знаходяться (мал. 29.2).
7. Оскільки «картезіанський водолаз» плаває, його густина менша за густину води. За рахунок чого збільшується густина піпетки, коли ми стискаємо пляшку?
8. Чому піднімається вгору дим?
9. Щоб пірнути, кит мусить збільшити свою густину. Як він це робить?
10. Риби іноді пускають бульбашки з рота. Коли саме вони це роблять: коли випливають чи коли пірнають?
11. Чи буде діяти на тіло виштовхувальна сила, якщо пропаде сила тяжіння?
12. Чому в кабіні космічної станції запалений сірник чи свічка швидко гаснуть?
13. Чому повітряна куля, наповнена воднем, має більшу піднімальну силу, ніж куля, наповнена гелієм?
14. Чому оболонку стратостатів заповнюють газом тільки частково?
15. Чому тенісний м'ячик, занурений у воду, піднімається на поверхню, а повітряна куля зупиняється, не досягнувши верху атмосфери?

16. Яку масу води витісняє тіло, яке плаває, якщо його маса 200 г?
17. Полум'я пальника у монгольф'єра відрегульовано так, що куля зависла в повітрі. Що можна сказати про масу кулі разом із гарячим повітрям усередині та про масу витісненого кулею повітря?
18. Чи можна дістатися Місяця повітряною кулею?
19. Чи плаватиме у воді скляна пляшка, наповнена водою; чи плаватиме пляшка, наповнена ртуттю, у ртуті?
20. Тіло плаває, занурившись на третину свого об'єму у воду. Чому дорівнює густина тіла?
21. Визначте об'єм плаваючої в морі крижини площею  $160 \text{ м}^2$ , якщо висота частини крижини, яка знаходиться над поверхнею води, дорівнює 1 м. Густина льоду –  $0,9 \text{ г/см}^3$ .
- \* 22. У циліндричну посудину з площею дна  $S$  налито рідину густиною  $\rho$ . Наскільки підніметься рівень рідини в посудині, якщо в неї помістити тіло масою  $m$ , яке плаває, не торкаючись дна?
23. Дерев'яний кубик лежить на дні склянки. Чи спливе він, якщо у склянку налити води? Вода не потрапляє під кубик.
24. Ви тримаєте на нитці повітряну кульку, наповнену гелієм. а) Які сили компенсуються, не даючи кульці злетіти? б) Чому кулька прискорюється, якщо відпустити нитку?
- \* 25. У дерев'яній коробочці, яка плаває в посудині з водою, знаходиться залізна кулька. Як зміниться рівень води в посудині, якщо кульку кинути у воду?
26. Куля об'ємом  $1 \text{ м}^3$  наповнена гелієм і може підняти вантаж 1 кг. Який максимальний вантаж вона підніме, якщо її наповнити воднем? Виберіть правильну відповідь: а) 2 кг; б) 1,3 кг; в) 1,21 кг; г) 1,12 кг; д) 1,09 кг. Густина повітря  $1,29 \text{ кг/м}^3$ , гелію  $0,18 \text{ кг/м}^3$ , водню  $0,09 \text{ кг/м}^3$ .



## З ІСТОРІЇ НАУКИ

### БРАТИ МОНГОЛЬФ'Є

Із давніх часів люди мріяли літати, як птахи, і придумували для цього хитромудрі пристрої і машини, які махали крильми. Але трапилося так, що вперше людина відірвалася від Землі та піднялася в повітря за допомогою повітряної кулі, яку винайшли брати Монгольф'є.



Люди мріяли літати, як птахи

Наприкінці XVIII століття два французькі хлопчики, брати Жозеф і Жак Монгольф'є, займалися дослідями, наповнюючи паперові пакети гарячим повітрям і паром із киплячого чайника. Вони вирішили, що, оскільки пара піднімається вгору, утворюючи хмари, то й легкий мішок, наповнений паром, також повинен літати (літати хлопці мріяли з дитинства: Жак у дев'ять років зістрибнув з парасолькою з даху комори і набив собі синці).



Досліди тривали кілька років, і нарешті було проведено політ кулі на відкритому повітрі за присутності мера і жителів містечка. Мішок, пошитий зі старої спідниці, підвісили отвором униз над вогнищем, розпаленим із вогкої соломи. Мішок роздувся, злетів високо в повітря й опустився за кілька кілометрів від села. Брати були захоплені, але не розуміли, чому їхня куля через деякий час після початку польоту падає.

Так стається, бо гаряче повітря розширюється, і та його частина, що залишається в кулі, важить менше, ніж повітря ззовні. Як наслідок виштовхувальна сила стає більшою за вагу кулі. У польоті повітря вистигає, і піднімальна сила поступово зменшується.

Відомий французький фізик Шарль у грудні 1783 року здійснив двогодинний політ на кулі, наповненій воднем. Така повітряна куля добре літає, бо водень дуже легкий, але при контакті з повітрям він легко спалахує, тому такі кулі вогнебезпечні. Пізніше кулі почали заповнювати безпечним гелієм. У наш час величезні кулі, виготовлені з легких новітніх матеріалів і наповнені гарячим повітрям, яке нагрівають за допомогою газових пальників, – монгольф'єри, беруть участь у спортивних змаганнях.

## ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

## ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛИ

## ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ

## Зміна швидкості руху тіла

Прискорення  $a \left( \frac{M}{C^2} \right)$  – фізична

величина, що показує зміну швидкості тіла за одиницю часу

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

## Деформація – зміна форми й розмірів тіла

пружня

пластична

розтяг

стиск

згин

зсув

кручення

**СИЛА** – фізична величина, що є кількісною мірою взаємодії  $F, H$ 

## Гравітаційна взаємодія

СИЛА ТЯЖІННЯ

$$F_{тяж.} = m \cdot g$$

$$g = 9,81 \text{ Н/кг}$$

Електромагнітна взаємодія  
(сили молекулярної взаємодії)

СИЛА ПРУЖНОСТІ

$$F_{пр.} = k \cdot x$$

(закон Гука)

Вага тіла  
 $P = m \cdot g$ 

СИЛА ТИСКУ

$$F = p \cdot S$$

Виштовхувальна сила (сила Архімеда)  
 $F_A = \rho_{\text{річ./газу}} \cdot g \cdot V_{\text{зан.}}$ 

СИЛА ТЕРТЯ

сила тертя спокою

$$F_{т.спок.} = F_{пр.к.}$$

сила тертя ковзання

$$F_{т.ков.} = \mu N$$

сила тертя кочення

$$F_{т.коч.} \ll F_{т.ков.}$$

сила опору середовища

**РІВНОДІЙНА СИЛА – результуюча дії всіх тіл на дане тіло**

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

**Скомпенсовані сили**  $\vec{F} = 0$ 

СТАН СПОКОЮ

РУХ ТІЛА ЗА ІНЕРЦІЄЮ  
швидкість руху  
змінюєтьсяРІВНОМІРНИЙ  
ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ**Нескомпенсовані сили**

$$\vec{F} \neq 0$$

НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ  
швидкість руху змінюється  
за значенням чи  
за напрямком**ОСНОВНІ ЗАКОНИ НЬЮТОНА**

I ЗАКОН	II ЗАКОН	III ЗАКОН
Існують такі системи відліку, відносно яких тіло зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на нього не діють інші тіла або дія інших тіл скомпенсована. Такі системи відліку називаються інерціальними	Прискорення, якого набуває тіло, прямо пропорційне рівнодійній силі і обернено пропорційна масі тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$	В інерціальній системі відліку сили, з якими тіла діють одне на одне, однакові за величиною і протилежні за напрямком $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

**ЗАКОН ПАСКАЛЯ**

Тиск у рідинах і газах передається в усі точки і в усіх напрямках однаково

Сполучені посудини

$$S_1 = h_1$$

$$S_2 = h_2$$

Гідравлічні машини

$$F_1 = S_1$$

$$F_2 = S_2$$

**ЗАКОН АРХІМЕДА**

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка спрямована вертикально вгору і дорівнює вазі рідини/газу, що витіснена цим тілом

$$F_A = \rho_{\text{рід./газу}} \cdot g \cdot V$$

Плавання суден

$$\rho_{\text{тіла}} < \rho_{\text{рід.}}$$

Повітроплавання

$$\rho_{\text{тіла}} < \rho_{\text{газу}}$$

Нормальний атмосферний тиск  $p_a = 760 \text{ мм рт. ст.} = 101 \text{ кПа}$ 

$$1 \text{ атм} = 101\,325 \text{ Па}$$

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

### ВИБЕРІТЬ ПРАВИЛЬНУ ВІДПОВІДЬ:

1. Те, що лід плаває на поверхні води означає, що густина льоду:

А	Б	В	Г
більша за густину води	менша за густину води	рівна густині води	не можна порівнювати

2. Те, що над водою знаходиться 0,1 частина об'єму айсберга означає, що його густина становить:

А	Б	В	Г
0,1 густини води	1,1 густини води	0,9 густини води	дорівнює густині води

3. Шматок льоду плаває в стакані з водою. Як зміниться рівень води після того, як лід розтане?

А	Б	В	Г
підвищиться	не зміниться	знизиться	не вистачає даних

4. Розміри мідного кубу збільшили втричі. У скільки разів змінилися його маса і густина?

А	Б	В	Г
маса і густина збільшилися втричі	маса збільшилася у шість разів, густина збільшилася втричі	маса збільшалася у дев'ять разів, густина не змінилася	маса збільшилася у дев'ять разів, густина зменшилася втричі

5. Сталеву кулю об'ємом  $1 \text{ дм}^3$  опускають в посудину, щерть заповнену водою. Яка маса води виллється?

А	Б	В	Г
1 кг	7,8 кг	2,5 кг	0,5 кг.

6. Яка вага тіла, маса якого 50 кг?

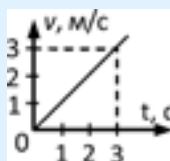
А	Б	В	Г
50 Н	49 Н	500 Н	490 Н

7. Під дією сили 3 Н пружина видовжилась на 2 см. Яка жорсткість пружини в Н/см?

А	Б	В	Г
6	1,5	3	5

8. За даним графіком  $v(t)$  визначте величину сили, що діяла на тіло масою 2 кг протягом 3 с (мал. 1):

А	Б
3 Н	2 Н
В	Г
1 Н	0



Мал. 1

9. Яка сила штовхає людину вперед під час бігу?

А	Б	В	Г
сила тяжіння	сила реакції опори	тертя спокою	тертя ковзання

10. За якою ознакою можна визначити, що на тіло діє некомпенсована сила? Тіло рухається:

А	Б	В	Г
рівномірно	прискорено	рівномірно прямолінійно	перебуває в рівновазі

11. Парашутист масою 80 кг опускається рівномірно з відкритим парашутом. Яка величина сили опору повітря, що на нього діє?

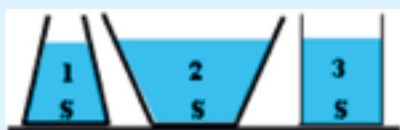
А	Б	В	Г
80 Н	800 Н	0	180 Н

9. Густина рідини втричі більша за густину тіла. Яка частина об'єму тіла буде знаходитися над рідиною, в якій воно плаває?

А	Б	В	Г
1/3	2/3	1/2	1/4

## РОЗВ'ЯЖІТЬ ЗАДАЧІ

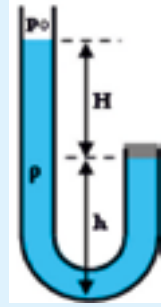
- Дія сили на тіло припинилася. Чи зберігає воно: *а)* прискорення, *б)* швидкість?
- Яка сила може заставити автомобіль масою 2 000 кг збільшити швидкість від 10 м/с до 20 м/с за 5 с?
- Тіло масою 2 кг знаходиться на горизонтальній площині. Коефіцієнт тертя становить 0,3. На тіло діє горизонтальна сила  $F$ ,  $g = 10$  Н/кг. Визначте силу тертя для двох випадків: *а)*  $F = 2$  Н, *б)*  $F = 4$  Н.
- Яку величину рівнодійної двох сил 10 Н і 14 Н можна отримати, якщо вони напрямлені: *а)* в один бік, *б)* в протилежні сторони?
- Яка сила не дає розв'язатися вузлам на шнурках черевиків?
- Підвішений до тросу тягар діє на нього з силою 19,6 Н. Яка маса тягаря?
- Хлопчик масою 50 кг несе рюкзак масою 15 кг. З якою силою хлопчик тисне на дорогу?
- Масу снаряду в гарматі збільшили вдвічі, не змінивши кількість пороху в гільзі. Як змінилося прискорення снаряду при вистрілі?
- На автомобіль, що рівномірно рухається горизонтальною дорогою діє сила тяги 2 кН і сила тертя 0,5 кН. Яка сила опору повітря діє на автомобіль?
- Санки масою 80 кг рухаються рівномірно під дією горизонтальної сили 40 Н. Який коефіцієнт тертя санок об лід?
- Порівнявши факт падіння яблука і рух Місяця навколо Землі, Ньютон припустив, що причина цих явищ одна – земне тяжіння. Чим було це припущення: фізичним законом, гіпотезою чи теорією?
- Під дією однакової сили 5 Н перша пружина видовжилася на 2 см, а друга – на 2,5 см. Порівняйте жорсткість пружин.
- Яке підсилення можна отримати на гідравлічній машині, де відношення площ поршнів становить 1 : 20?
- На якій глибині в озері тиск води становить 300 000 Па?  $g = 10$  Н/кг.
- Яку силу треба прикласти до каменя масою 10 кг, щоб відірвати його від дна, якщо на нього діє виштовхувальна сила 30 Н?  $g = 10$  Н/кг.
- Який приблизно об'єм людини масою 45 кг?
- У посудинах з однаковими площами дна (мал. III.2) знаходиться вода, рівні якої однакові і дорівнюють  $h$ . В якій



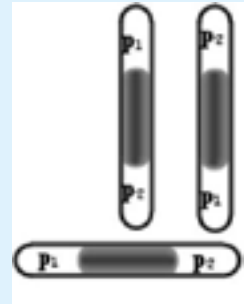
Мал. 2

з посудин найбільшими є: **а)** маса води, **б)** тиск на дно, **в)** сила тиску на дно? **г)** В якій посудині сила тиску на дно дорівнює силі тяжіння, яка діє на воду?

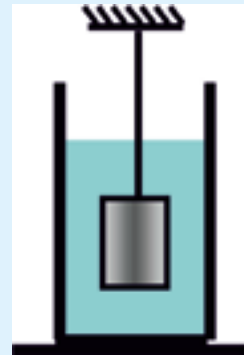
18. Два тіла різної густини плавають у воді. **а)** Яке з тіл глибше занурене у воду? **б)** На яке з тіл діє більша виштовхувальна сила?
19. Чому при нормальному атмосферному тиску воду поршневим насосом не можна підняти вище, ніж на 10,3 м?
20. Два тіла різної маси, але однакового об'єму повністю занурили у воду. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на тіла.
21. Алюмінієве та залізне тіла однакової маси повністю занурили у воду. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на тіла.
22. Судно, занурене в озері до ватерлінії, має масу 10 000 кг. Який об'єм води воно витісняє?
23. На дно площею 20 см<sup>2</sup> циліндричної посудини з водою поклали алюмінієве тіло. При цьому рівень води піднявся на 5 см. **а)** Яка маса тіла? **б)** З якою силою тіло тисне на дно посудини?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
24. На терезах, що знаходяться в герметичній посудині, алюмінієве тіло врівноважене сталевими важками. Як рухатиметься шалька терезів, на якій знаходиться тіло, якщо з посудини викачати повітря?
25. В U-подібну скляну трубку (мал. III.3), закриту з правого боку корком, налито воду ( $\rho$ ). Визначте тиск води: **а)** на корок, **б)** в нижній частині трубки. Атмосферний тиск –  $p_0$ .
26. В горизонтальній закритій тонкій трубці (мал. III.4) знаходяться повітря, що розділене стовпчиком ртуті довжиною  $h = 3 \text{ см}$ . Тиск повітря  $p_2 = 750 \text{ мм рт. ст.}$  Який тиск  $p_1$ , коли **а)** трубка горизонтальна, **б)** трубка вертикальна,  $p_1$  нагорі, **в)** трубка вертикальна,  $p_2$  нагорі?
27. Підвішене за нитку до стелі тіло масою  $m = 0,5 \text{ кг}$  і густиною  $2\,500 \text{ кг/м}^3$  повністю занурене у воду і перебуває в стані рівноваги (мал. III.5). **а)** Скільки сил діє на тіло і які вони за величиною і напрямком? **б)** Чому дорівнює рівнодійна  $F$  сил, що діють на тіло? **в)** З якою силою і в якому напрямку тіло діє на нитку в точці підвісу?



Мал. 3

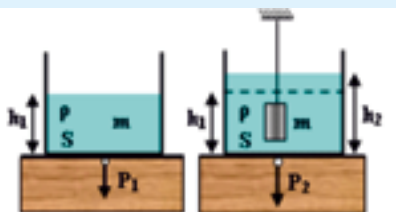


Мал. 4

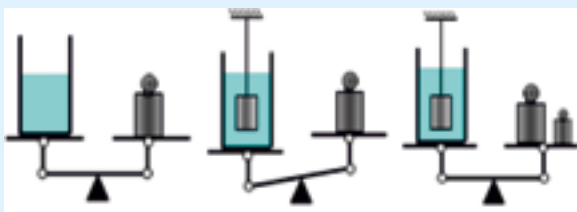


Мал. 5

28. У посудині з ртуттю плаває сталеве тіло. Чи зміниться глибина занурення тіла у ртуть, якщо в посудину долити воду?
29. У циліндричну посудину масою 300 г, в якій знаходиться вода, густина якої  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , повністю занурили тіло масою  $m = 200 \text{ г}$ , яке висить на нитці (мал. III.6). Висота рівня води збільшилася від початкового рівня  $h_1 = 15 \text{ см}$  до  $h_2 = 20 \text{ см}$ . Визначте: **а)** на скільки збільшився тиск води на дно посудини? **б)** Яка вага посудини з водою ( $P_1$ ) в першому і ( $P_2$ ) в другому випадку? **в)** Яка виштовхувальна сила діє на тіло? **г)** На скільки зменшився натяг нитки, на якій висить тіло?

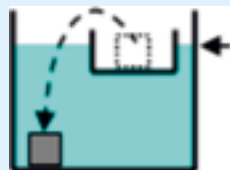


Мал. 6



Мал. 7

30. Посудина з рідиною врівноважена на вагах (мал. III.7). Після того, як у воду опустили металеве тіло, що підвішене на нитці, рівновага порушилася. **а)** Чому шалька з посудиною опустилася, адже тіло висить на нитці і не торкається дна посудини? **б)** Якою повинна бути вага додаткового вантажу, щоб урівноважити ваги в новій ситуації?
31. У посудині з водою (мал. III.8) плаває коробка, в якій знаходиться сталеве тіло. Як зміниться рівень води, якщо тіло перемістити на дно посудини?



Мал. 8

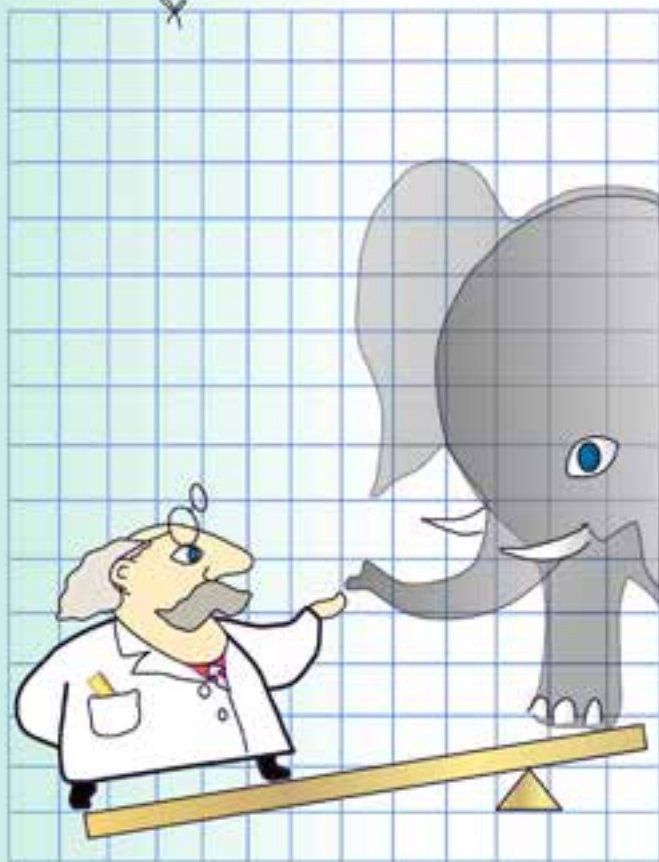
Розділ

4

# Механічна робота та енергія

енергія

механічна робота



## §30. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ПОТУЖНІСТЬ

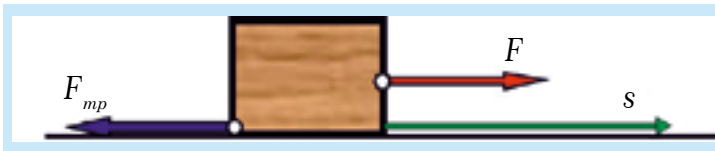
### МЕХАНІЧНА РОБОТА

Якщо на тіло діє сила  $F$  і тіло дією цієї сили здійснює переміщення  $s$  у напрямку дії сили, то при цьому виконується робота  $A$ , яку обчислюють за формулою:

$$A = F \cdot s, \quad (30.1)$$

де  $A$  – робота, а  $F$  – сила, напрямлена по лінії дії вектора переміщення  $\vec{s}$  (мал. 30.1). Формула дає правильний результат лише за умови, що сила залишається постійною впродовж усього переміщення.

Отже, робота дорівнює добутку сили на величину переміщення.



Мал. 30.1. Робота дорівнює добутку сили на переміщення

У СІ робота вимірюється в джоулях (Дж). Одиниця названа на честь англійського фізика Джеймса Джоуля, який уперше довів, що теплота – це різновид енергії. Згідно з формулою (30.1)  $\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м}$ , **робота величиною в один джоуль (Дж) виконується силою один ньютон (Н), що переміщує тіло в напрямку дії сили на один метр (м).**

Якщо на тіло діє декілька сил, то робота кожної сили обчислюється окремо. Коли сила діє в протилежному до переміщення напрямку, то її робота вважається від'ємною. Такою може бути, наприклад, робота сили тертя:  $A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot s$ .

Якщо сила напрямлена перпендикулярно до переміщення, то її робота дорівнює нулю. На мал. 30.1, наприклад, не вказані сили реакції опори  $N$  та сили тяжіння  $mg$ , оскільки роботу ці сили не виконують.

#### ► ПРИКЛАД 30.1

Тіло перемістили на відстань  $s = 2 \text{ м}$ , рухаючи його рівномірно в горизонтальному напрямку під дією сили  $F = 3 \text{ Н}$ . Обчисліть роботу сили  $F$  і сили тертя  $F_{\text{тр}}$ .

**Дано:**

$$m = 10 \text{ кг}$$

$$s = 2 \text{ м}$$

$$F = 3 \text{ Н}$$

$$A_F = ?$$

$$A_{\text{тр}} = ?$$

**Розв'язання.**

Роботу сили  $F$  обчислимо за формулою

$$A_F = F \cdot s = 3 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = 6 \text{ Дж}.$$

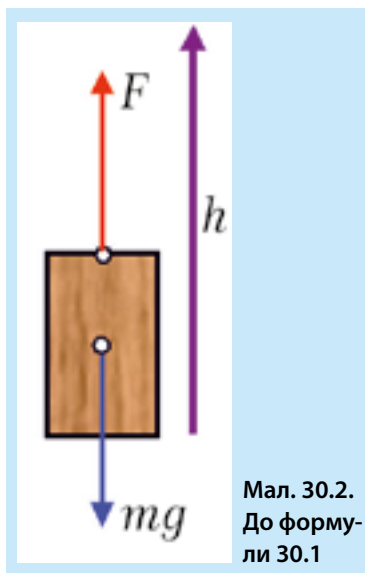
Оскільки тіло рухається рівномірно, то сила  $F$  компенсує дію сили  $F_{\text{тр}}$ , тобто дорівнює їй за величиною (і протилежна за напрямком):

$$F_{\text{тр}} = F = 3 \text{ Н}$$

Робота сили тертя дорівнює:

$$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot s = -3 \text{ Н} \cdot 2 \text{ м} = -6 \text{ Дж}.$$

**Відповідь:** Робота сили  $F$  дорівнює  $6 \text{ Дж}$ , робота сили тертя дорівнює  $- 6 \text{ Дж}$ .



Мал. 30.2.  
До форму-  
ли 30.1

## РОБОТА В ПОЛІ ТЯЖІННЯ

Якщо тіло рівномірно піднімають угору, долаючи силу тяжіння  $mg$ , чи опускають униз під дією сили тяжіння (мал. 30.2), то робота обчислюється за тією ж формулою (31.1), але переміщення позначають літерою  $h$ :

$$A = mg \cdot h \quad (30.1)$$

При підйомі робота сили тяжіння від'ємна, а робота підіймаючої сили – додатна.

### ПРИКЛАД 30.2

Яка робота була виконана краном, що підняв бетонну плиту масою  $400 \text{ кг}$  на висоту  $5 \text{ м}$ ?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

**Дано:**

$$m = 400 \text{ кг}$$

$$h = 2 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$A_{\text{тяж}} - ?$$

**Розв'язання.**

Очевидно, що кран повинен діяти на плиту вгору з силою  $F$ , не меншою за  $mg$ .

Роботу сили  $F$ , яку розвиває кран, обчислимо за формулою:

$$A_F = F \cdot h = mg \cdot h = 20\,000 \text{ Дж}.$$

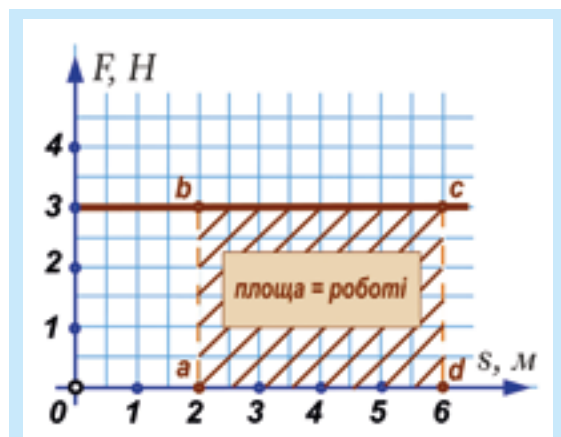
**Відповідь:** Кран виконав роботу  $20\,000 \text{ Дж}$  ( $20 \text{ кДж}$ ).

## ГРАФІК СИЛИ

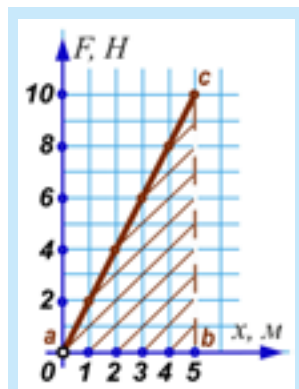
Накреслимо графік залежності величини сили « $F$ » від переміщення « $s$ » для випадку, коли величина сили не змінюється, а напрямок сили збігається з напрямком переміщення (мал. 30.3). Легко помітити, що добуток  $F \cdot s$  збігається за числовим значенням із площею прямокутника  $abcd$ , тобто **робота може бути обчислена як площа фігури на графіку сили в залежності від переміщення  $F(s)$** .

Цей новий спосіб обчислення роботи стає в нагоді, коли сила змінюється в процесі переміщення. Якщо ми розтягуємо пружину з деякою силою  $F$ , то **величина цієї сили збільшується** з видовженням пружини згідно з законом Гука. Тому обчислювати роботу за формулою (30.1) вже не можна.

Накреслимо графік сили для випадку видовження пружини (мал. 30.4). Робота чисельно дорівнює площі трикутника  $abc$ , де  $ab = x$  – видовження, а відрізок  $bc = F$  – максимальна сила, яка утримує пружину у видовженому стані.



Мал. 30.3. Площа під графіком сили чисельно дорівнює роботі



Мал. 30.4. Робота по видовженню пружини чисельно дорівнює площі трикутника  $abc$

Таким чином, робота по видовженню пружини дорівнює:

$$A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x \quad (30.2)$$

Враховуючи, що  $F = k \cdot x$ , формулу (31.2) можна записати і так:

$$A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad (30.3)$$

## ПОТУЖНІСТЬ

Швидкість виконання роботи називають потужністю і позначають літерою  $P$ . Потужність дорівнює відношенню роботи до часу, впродовж якого ця робота була виконана:

$$P = \frac{A}{t}, \quad (30.4)$$

де  $A$  – робота, виконана за час  $t$ .

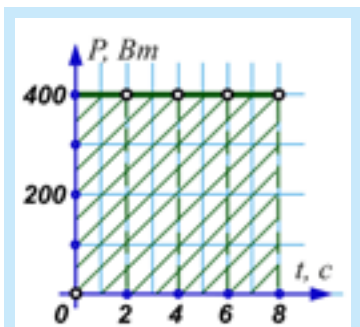
У СІ потужність вимірюється у ватах (Вт) (одиницю названо на честь англійського вченого та інженера Джеймса Ватта, який побудував першу парову машину). Згідно з (30.4)  $\text{Вт} = \text{Дж/с}$ : **за потужності один ват за одну секунду виконується робота один джоуль.**

На практиці часто використовуються більші одиниці потужності – кіловат (кВт) і мегават (МВт):  $1 \text{ кВт} = 1\,000 \text{ Вт}$ ,  $1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}$ .

Якщо у формулі (31.4) « $A$ » замінити на  $F \cdot s$  і врахувати, що  $v = s/t$ , то отримаємо нову корисну формулу, яка дозволяє знайти потужність, знаючи силу й швидкість:

$$P = F \cdot v \quad (30.5)$$

За формулою (30.5) можна підрахувати потужність машини в даний момент часу. Більш потужні машини виконують роботу швидше. Наприклад, потужний двигун дає змогу автомобілеві рухатися з більшим прискоренням, що покращує можливості маневрування.



Мал. 30.5. Площа під графіком  $P(t)$  чисельно дорівнює роботі

З формули (30.4) можна отримати новий вираз для обчислення роботи:

$$A = P \cdot t, \quad (30.6)$$

який справедливий, коли потужність машини є постійною впродовж часу  $t$ .

Якщо побудувати **графік залежності потужності від часу** (при постійній потужності), то стає очевидним, що площа фігури на графіку залежності потужності від часу, що обмежена графіком та віссю абсцис, дорівнює роботі (мал. 30.5).

### ▶ ПРИКЛАД 30.3

Електролічильник (мал. 30.6) визначає спожиту енергію в  $\text{кВт}\cdot\text{год}$ . Що це за фізична величина?

**Розв'язання:** Згідно з формулою (30.6), це – робота. Виразимо  $\text{кВт}\cdot\text{год}$  у Дж:

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

**Відповідь:**  $1 \text{ кВт}\cdot\text{год}$  дорівнює роботі  $3\,600\,000 \text{ Дж}$ , або  $3,6 \text{ МДж}$ .



Мал. 30.6. Електролічильник

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Механічна робота дорівнює добутку сили на величину переміщення:  $A = F \cdot s$ .
- ➔ Коли сила діє в протилежному до переміщення напрямку, то її робота вважається від'ємною.
- ➔ Якщо сила напрямлена перпендикулярно до переміщення, то її робота дорівнює нулю.
- ➔ Потужність дорівнює відношенню роботи до часу, впродовж якого ця робота була виконана:  $P = \frac{A}{t}$ .
- ➔ Робота змінної сили може бути обчислена за площею під графіком  $F(t)$ .



### ВПРАВА 30

1. За якої умови формула роботи дає правильний результат?
2. Який фізичний зміст одиниці роботи Дж?
3. В яких випадках сила не виконує роботу?
4. В яких випадках сила виконує від'ємну роботу?
5. Робота якої сили від'ємна?
6. За якою формулою обчислюють роботу сили тяжіння?
7. Як можна обчислити роботу сили, яка змінюється за величиною?
8. Як називають фізичну величину, що характеризує швидкість виконання механічної роботи?
9. Як можна обчислити роботу, знаючи потужність і час роботи?
10. Як можна обчислити роботу, знаючи силу тяги машини та її швидкість?
11. Назвіть три способи розрахунку роботи.
12. У чому полягає перевага від використання потужних машин?
- \* 13. Чи виконує роботу людина, яка тримає в руці важку валізу?
14. Яку роботу виконує сила 10 Н, яка переміщує тіло на відстань 5 м?
15. Яку роботу потрібно виконати, щоб ящик масою 40 кг рівномірно перемістити на 2 м по горизонтальній підлозі? Сила прикладається в напрямку переміщення. Коефіцієнт тертя ящика об підлогу становить 0,6.  $g = 10$  Н/кг.
16. М'яч масою 100 г підкинули на висоту 5 м. Знайдіть роботу сили тяжіння при русі м'яча: а) вгору; б) вниз.
17. Яку роботу потрібно виконати, щоб підняти з канави глибиною 5 м бетонну брилу об'ємом  $0,6 \text{ м}^3$ ? Густина бетону –  $2600 \text{ кг/м}^3$ .
18. Знайдіть роботу, яку треба виконати, щоб видовжити пружину жорсткістю 400 Н/м на 0,02 м.
19. Як змінюється потужність двигуна автомобіля при натисканні на педаль газу?
20. Поясніть за допомогою формули (30.5), чому на крутому підйомі необхідно переключитися на понижену передачу.
21. Яка потужність двигуна, що виконує роботу 3 600 Дж за 1 хвилину?
22. Підйомний кран підняв вантаж 5 т на висоту 16 м за 1 хвилину. Яка потужність двигуна крана?
23. Обчисліть роботу двигуна за графіком потужності, наведеним на мал. 30.5: а) за 4 с; б) 8 с.
- \* 24. Бетонний блок об'ємом  $2 \text{ м}^3$  підняли під водою на висоту 1 м. Обчисліть виконану роботу. Густина бетону –  $2600 \text{ кг/м}^3$ .

## §31. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ ТА ЇЇ ВИДИ



Мал. 31.1. Використання енергії вітру

### ПОНЯТТЯ ЕНЕРГІЇ

Поняття енергії – одне з найважливіших не тільки у фізиці. Від кількості виробленої енергії і способу її отримання залежить якість нашого життя. Згадаємо такі вислови: тепла енергія, енергетична криза, плата за електроенергію, енергійна людина, об'єднані енергетичні системи.

Ми звикли, що енергія – це певний ресурс, який дозволяє поліпшити добробут. Виробництво і розподіл енергії торкається всіх сторін життя людини. Тому потрібно знати, як вона виробляється, передається та зберігається.

Ось деякі властивості енергії:

1. Тіло може мати, отримувати та віддавати енергію.
2. Існує багато видів енергії (*механічна, тепла, електрична тощо*), і вона може переходити з одного виду в інший.
3. За певних умов енергія може зберігатися.

### МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

**Якщо тіло може виконати роботу, то воно має енергію.** Щоб мати енергію, немає необхідності здійснювати роботу, досить мати таку можливість.

**Величина енергії дорівнює максимальній роботі, яку тіло може виконати за певних обставин.** Як і робота, енергія вимірюється в Дж.

Є два види механічної енергії: *потенціальна і кінетична*. Позначимо енергію літерою  $E$ . Нижній індекс (значок) у виразах для енергії біля літери  $E$  означатиме: « $K$ » – кінетична, « $P$ » – потенціальна.



Мал. 31.2. Колесо автомобіля має дві кінетичні енергії – обертову і поступальну

### КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ

**Кінетична енергія ( $E_K$ )** – це енергія тіл, що рухаються («*кінема*» грецькою означає «*рух*»). Це може бути енергія вітру, потоку води, обертова енергія масивного маховика. Підрахувати кінетичну енергію можна за формулою:

$$E_K = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (31.1)$$

де « $m$ » – маса тіла, а « $v$ » – його швидкість.

Тіло, яке бере участь одночасно в двох рухах – поступальному й обертовому – має дві кінетичні енергії, як, наприклад, колесо автомобіля (мал. 31.2). Поступальний рух центра колеса відбувається зі швидкістю автомобіля, а обертова швидкість збільшується від нуля у центрі до швидкості автомобіля (на рівні протектора шин). Можливо, ви бачили у фільмах, як продовжують крутитися колеса в автомобіля, що перевернувся, – поступальної енергії вже немає, а оберտальна ще є.

### ► ПРИКЛАД 31.1

Порівняйте кінетичні енергії **а)** легкового автомобіля масою 1 500 кг, який рухається зі швидкістю 72 км/год; **б)** снаряду масою 3 кг, що летить зі швидкістю 500 м/с.

**Розв'язання:**

**а)** Швидкість автомобіля  $72 \text{ км/год} = 20 \text{ м/с}$ . Кінетична енергія автомобіля:  $E_{K1} = \frac{1500 \text{ кг} \cdot 400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 300\,000 \text{ Дж}$ , або  $300 \text{ кДж}$ .

Пояснимо, як отримали Дж:  $\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 = (\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2)\text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$ .

**б)** Кінетична енергія снаряду:

$$E_{K2} = \frac{3 \text{ кг} \cdot 250\,000 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 375\,000 \text{ Дж} \text{ (375 кДж)}.$$

**Зауваження.** Зверніть увагу, що маса снаряду у 500 разів менша за масу автомобіля, тоді як його швидкість більша лише у 25 разів. Однак кінетична енергія снаряду виявилася більшою, оскільки вираз  $\frac{m \cdot v^2}{2}$  залежить від швидкості в квадраті, а маса входить у формулу в першій степені.

Кінетичну енергію вітру використовують дуже давно. У наш час модернізовані вітряки виробляють значну кількість електрики (мал. 31.3). Електротранспорт перетворює частину своєї енергії руху в електрику, коли зменшує швидкість перед зупинкою.

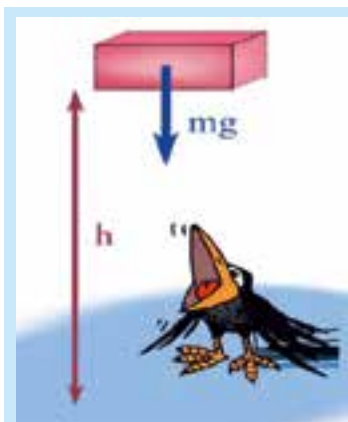
## ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

**Потенціальна енергія тіла ( $E_p$ )** – це енергія **можливості** (з англ. *potential* – потенціал, можливість). Таку енергію мають нерухомі тіла внаслідок **взаємодії** та взаємного **розташування**.

**Потенціальна енергія тяжіння.** Розглянемо нерухоме тіло масою « $m$ », яке знаходиться на



**Мал. 31.3.** Кінетичну енергію вітру вітросилові установки перетворюють на електричну енергію



**Мал. 31.4.** Потенціальну енергію тяжіння тіло має вже тому, що притягується Землею і знаходиться на певній висоті



**Мал. 31.5.** Енергія піднятої греблею води

висоті « $h$ » (мал.31.4). На це тіло діє сила тяжіння « $mg$ », і якщо надати тілу можливість впасти, то ця сила виконає роботу  $A = mgh$ . Оскільки запас енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов, то **енергія тіла, що знаходиться на деякій висоті над землею, становить:**

$$E_p = mgh \quad (31.2)$$

Тіло, перебуваючи на деякій висоті « $h$ », має енергію вже тому, що воно притягується Землею і може впасти. Тіло, яке лежить на підлозі, не має потенціальної енергії відносно підлоги, хоча на нього діє сила тяжіння. Зауважимо, що початок відліку висоти « $h$ » може бути різним, тому про потенціальну енергію тяжіння можна говорити лише по відношенню до вибраного початкового (нульового) рівня.

Якщо тіло знаходиться нижче нульового рівня, наприклад у ямі, то його **потенціальна енергія є від'ємною**. Це означає, що за рахунок цієї енергії тіло не може виконати роботу при переміщенні на нульовий рівень. Більше того: щоб підняти тіло на цей рівень, доведеться комусь виконувати додатну роботу, яка за величиною дорівнює потенціальній енергії тіла.

Потенціальною енергією люди також користуються з давніх часів. Пригадайте водяні млини або старовинні годинники з гирями. Коли будують гідроелектростанцію (ГЕС), то річку перекривають греблею, щоб підняти рівень води (мал.

31.5). Падаючи вниз, вода обертає турбіни генераторів і виконує роботу. Чим вища гребля і чим більше води несе ріка, тим більше електроенергії виробляє ГЕС.

### ► ПРИКЛАД 31.2

Яку масу має тіло, підняте на висоту 20 м, якщо його потенціальна енергія становить 300 кДж?

**Розв'язання.** Очевидно, що мова йде про потенціальну енергію тяжіння, тому  $E_p = mgh$ .

$$\text{Звідси } m = E_p / (gh) = 300\,000 \text{ Дж} / (10 \text{ Н/кг} \cdot 20 \text{ м}) = 1500 \text{ кг}.$$

**Відповідь:** маса тіла дорівнює 1 500 кг або 1,5 т.

**Зауваження.** 300 кДж – це кінетична енергія автомобіля з прикладу 30.1. Цікаво, що, якби автомобіль на трампліні підстрибнув вертикально вгору, а

його кінетична енергія повністю перейшла в потенціальну, він зміг би піднятися на висоту 20 м.

## ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ ПРУЖНО ДЕФОРМОВАНОГО ТІЛА

Якщо видовження пружини жорсткості « $k$ » становить « $x$ », вона може виконати роботу  $A = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$  (або  $A = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ ) за умови, що пружині буде надана можливість повернутися в недеформований стан. Отже, потенціальна енергія деформованої пружини становить:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x \text{ або } E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2, \quad (31.3)$$

де « $F$ » – сила, яка утримує пружину у видовженому на « $x$ » стані.

Накручуючи пружину механічного годинника, ми надаємо їй запас потенціальної енергії, яка потім витратиться для приведення в рух механізму і стрілок. Годинник зупиниться після того, як пружина знову розпрямиться і витратить свою енергію.

## ПОВНА МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

Тіло може одночасно мати декілька видів механічної енергії: як потенціальної, так і кінетичної. Повна механічна енергія « $E$ » тіла дорівнює сумі поступальної і обертальної кінетичних енергій, а також потенціальних енергій пружної деформації та тяжіння:

$$E = E_{\text{Кінет.}} + E_{\text{Коберт.}} + E_{\text{Ртяж.}} + E_{\text{Пружн.}} \quad (31.4)$$

### ПРИКЛАД 31.3

Літак масою 30 т летить на висоті 10 000 м зі швидкістю 720 км/год. Обчисліть його повну механічну енергію ( $g = 10 \text{ Н/кг}$ ).

#### Дано:

$h = 10\,000 \text{ м}$   
 $v = 720 \text{ км/год}$   
 $g = 10 \text{ Н/кг}$

$E = ?$

#### Розв'язання.

Літак має поступальну кінетичну енергію і потенціальну енергію тяжіння. Отже, повна механічна енергія становить:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + mgh,$$

Перетворимо швидкість літака в одиниці СІ:  
 $720 \text{ км/год} = 200 \text{ м/с}$ .

$$\begin{aligned} E &= \frac{30\,000 \text{ кг} \cdot (200 \text{ м/с})^2}{2} + 30\,000 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 10\,000 \text{ м} = \\ &= 600\,000\,000 \text{ Дж} + 3\,000\,000\,000 \text{ Дж} = 3\,600 \text{ МДж} \end{aligned}$$

**Відповідь:** повна механічна енергія літака дорівнює 3600 МДж.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Енергія характеризує можливість тіла виконати роботу. Величина енергії дорівнює найбільшій роботі, яку тіло може виконати за даних умов.
- ➔ Є два види механічної енергії: кінетична (енергія рухомих тіл) і потенціальна (енергія можливості).
- ➔ Кінетична енергія обчислюється за формулою:  $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ .
- ➔ Потенціальна енергія тяжіння обчислюється за формулою  $E_p = mgh$ ; пружної деформації –  $E_p = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$  або  $E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ . Повна механічна енергія « $E$ » тіла дорівнює сумі кінетичних і потенціальних енергій тіла.



## ВПРАВА 31

1. За якої умови тіло має енергію?
2. Який вид енергії мають: **а)** тіло, підняте на деяку висоту; **б)** деформоване тіло; **в)** рухоме тіло?
3. Яку роботу треба виконати, щоб: **а)** тіло маси  $m$  підняти на висоту  $h$ ; **б)** пружині жорсткості  $k$  надати видовження  $x$ ; **в)** тілу маси  $m$  надати швидкість  $v$ ?
4. Які види механічної енергії має літак, що летить?
5. Як обчислюють повну механічну енергію?
6. На однаковій висоті знаходяться залізне та алюмінієве тіло однакового об'єму. Яке з них має більшу потенціальну енергію?
7. Який вид енергії мають: **а)** вітер; **б)** піднята греблею вода; **в)** вода, що падає на лопаті турбіни ГЕС?
8. Як можуть два тіла різної маси мати однакову кінетичну енергію?
9. Чому важко бігати по піску?
10. Швидкість тіла зросла у п'ять разів. У скільки разів збільшилася його кінетична енергія?
11. Чим відрізняється потенціальна енергія люстри, обчислена відносно стола і відносно підлоги?
12. Видовження однієї з двох однакових пружин утричі більше, ніж іншої. У скільки разів відрізняються їх потенціальні енергії?
13. Дві пружини різної жорсткості розтягнуті однаково. У скільки разів відрізняються їх потенціальні енергії?
14. Тіло масою 4 кг знаходиться на висоті 10 м. Обчисліть енергію цього тіла.
15. Тіло масою 8 кг рухається зі швидкістю 18 км/год. Обчисліть енергію цього тіла.
16. Пружина жорсткістю 150 Н/см стиснута на 4 см. Який запас енергії пружини?
17. Гелікоптер масою три тонни піднявся на висоту 200 м. Яку роботу виконали його двигуни і на що вона витрачена?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
- \* 18. Якою буде потенціальна енергія пружини динамометра, якщо її розтягнути від нульової відмітки до позначки: **а)** 1 Н; **б)** 2 Н? Жорсткість пружини – 200 Н/м.

- \* 19. Пружину спочатку видовжили з недеформованого стану до позначки 10 Н, а потім – до позначки 20 Н. У скільки разів робота в другому випадку більша, ніж у першому? Розв'яжіть задачу також за допомогою графіка.

## §32. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

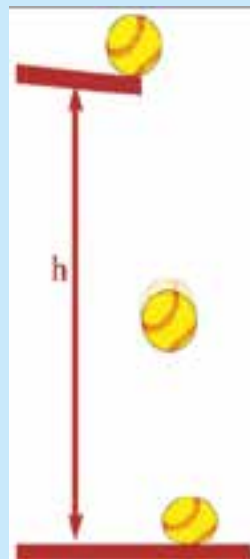
Перетворення енергії з одного виду в інший постійно відбуваються в природі і техніці. Перекидаючи ріку греблею гідроелектростанції, досягають того, що вода піднімається на значну висоту і набуває величезної потенціальної енергії.

Падаючи вниз, вода збільшує свою кінетичну енергію, за рахунок якої обертає лопаті гідротурбін. Ті, у свою чергу, обертають електрогенератори, які виробляють електричну енергію.

Розглянемо для прикладу падіння м'ячика з певної висоти (мал. 32.1). Коли м'ячик опускається, його потенціальна енергія зменшується, швидкість зростає, а з нею зростає і кінетична енергія. Біля самої землі потенціальна енергія зменшиться до нуля і повністю перейде в кінетичну, яка досягне свого найбільшого значення. Далі кінетична енергія почне переходити в енергію пружної деформації м'ячика, який стискається.

### ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Численні й досить точні дослідження показали, що кінетична енергія збільшується рівно настільки, наскільки зменшується потенціальна, якщо тільки можна знехтувати роботою сили тертя, тобто **сума потенціальної та кінетичної енергій залишається постійною (зберігається) за відсутності сили тертя**. Іншими словами, повна механічна енергія тіла зберігається, якщо на тіло не діють сили тертя або якщо вони малі і ними можна знехтувати.



Мал. 32.1. Перехід потенціальної енергії м'яча в кінетичну енергію



Мал. 32.2. Потенціальна енергія деформованого лука перейшла у кінетичну енергію стріли, яка в свою чергу перейшла у потенціальну енергію тяжіння

Якщо  $E_1 = E_{k1} + E_{p1}$  – повна механічна енергія тіла в одному стані, а  $E_2 = E_{k2} + E_{p2}$  – в іншому стані, то  $E_1 = E_2$ , тобто енергія зберігається за умови відсутності дії сил тертя.

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

### ▶ ПРИКЛАД 32.1

Швидкість стріли під час вистрілу з лука (мал. 32.2) становить 20 м/с. На яку найбільшу висоту вона може піднятися?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Дано:**

$$v = 720 \text{ км/год}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$h = ?$$

**Розв'язання.**

За нульовий рівень потенціальної енергії вибираємо місце вистрілу. У такому випадку на момент вистрілу тіло має лише кінетичну енергію і його повна енергія становить:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

При досягненні найвищої точки швидкість тіла стала рівною нулю і повна енергія складається тільки з потенціальної:  $E_2 = mgh$ . Сила тертя об повітря мала, нею можна знехтувати, тому  $E_1 = E_2$ , що дає:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = mgh. \text{ Звідси } h = \frac{v^2}{2g} = \frac{400 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 20 \text{ м}.$$

**Відповідь:** За умови відсутності тертя стріла може піднятися на висоту 20 м.

**Обговорення результатів.**

а) Висота 20 м була досягнута через відсутність тертя (тобто втрат енергії). Реально висота підйому буде дещо меншою.

б) Маса тіла в процесі обрахунків скоротилася, це означає, що тіло довірливої маси, якому надали швидкості 20 м/с, досягне висоти 20 м. Якщо цей факт вас дивує, спробуйте вирішити цей парадокс.

### ▶ ПРИКЛАД 32.2

Тіло масою 3 кг падає з висоти 8 м. Якою буде його швидкість у момент дотикання поверхні?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Розв'язання.** Подібно до попередньої задачі,  $mgh = \frac{m \cdot v^2}{2}$ , звідки:

$$v^2 = 2gh, v^2 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 8 \text{ м} = 160 \text{ м}^2/\text{с}^2, v = 16 \text{ м/с}.$$

**Відповідь:** тіло досягне швидкості 16 м/с.

## ► ПРИКЛАД 32.3

Іграшковий пружинний пістолет, жорсткість пружини якого 1 Н/см, зарядили кулькою масою 20 г і стиснули пружину на 10 см. З якою швидкістю вилетить кулька при пострілі?

**Розв'язання.** Перш ніж розв'язувати задачу, потрібно привести одиниці вимірювання в систему СІ:

$$1 \text{ Н/см} = 100 \text{ Н/м}, \quad 20 \text{ г} = 0,02 \text{ кг}, \quad 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}.$$

Енергія стисненої пружини становить  $E_1 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ . Коли пружина вирівнялася, то потенціальна енергія деформації пружини перейшла в кінетичну енергію кульки, яка дорівнює  $E_2 = \frac{m \cdot v^2}{2}$ . Згідно з законом збереження

енергії, повинна виконуватися рівність  $E_1 = E_2$ , тобто

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{m \cdot v^2}{2}. \text{ Звідси } v^2 = \frac{k \cdot x^2}{m}, \quad v^2 = \frac{100 \text{ Н/м} \cdot 0,01 \text{ м}^2}{0,02 \text{ кг}} = 50 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

$$v \approx 7 \text{ м/с}.$$

**Відповідь:** кулька матиме швидкість приблизно 7 м/с.

## ЕНЕРГІЯ І РОБОТА

Нагадаємо, що роботу можна обчислити:

1. За формулою  $A = F \cdot s$ , якщо сила постійна.
2. За графіком сили – як площу під графіком.
3. Через потужність як  $A = P \cdot t$ . Користуючись визначенням енергії, можна ще одним способом обчислювати роботу:
4. **Робота сили дорівнює зміні енергії тіла, яку вона спричинила.**

Якщо повна енергія тіла збільшується, це означає, що якась сила виконує позитивну роботу. Тоді **збільшення повної енергії тіла дорівнює роботі цієї сили:**  $A = E_2 - E_1$ . Якщо повна енергія тіла зменшується, то це означає, що якась сила виконує негативну роботу. Сила тертя ковзання, наприклад, виконує від'ємну роботу, і тому в рівності  $A_{mp} = E_2 - E_1$ ,  $A_{mp} < 0$ , оскільки  $E_2 < E_1$ .

Отже, **зміна механічної енергії є наслідком виконання роботи, а виконання роботи спричиняє зміну енергії.**



## ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 32.1.** Дослідіть, як відбивається тенісний м'ячик від різних предметів: стола, зошита, килима, ракетки, камінців на березі річки тощо. Чи може м'яч підскочити на висоту більшу, ніж та, з якої він упав?

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Енергія не виникає ні з чого і не зникає безслідно. Вона тільки переходить з одного виду в інший.
- ➔ Закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія тіла не змінюється, якщо немає втрат на тертя.
- ➔ Механічна робота може бути обчислена як зміна повної механічної енергії.



## ВПРАВА 32

1. Які перетворення енергії відбуваються при падінні м'яча?
2. За рахунок якої енергії працюють турбіни ГЕС?
3. За яких умов зберігається повна механічна енергія тіла?
4. Якщо повна енергія тіла зберігається, то як змінюється потенціальна енергія тіла при зменшенні його кінетичної енергії?
5. Які способи обчислення механічної роботи ви знаєте?
6. М'яч падає з певної висоти. Як змінюються його: *а)* кінетична; *б)* потенціальна; *в)* повна енергія? Тертям можна знехтувати.
7. Чому м'яч, який упав з деякої висоти на землю і відскочив, уже не може піднятися на попередню висоту?
8. Чому м'яч, який упав у пісок, взагалі не підскакує?
9. Куди поділася потенціальна енергія тяжіння м'яча в момент найбільшої деформації при падінні на підлогу (*мал. 32.1*)?
10. Відомі висота, з якої упав м'яч, його маса і швидкість у момент падіння. Як можна знайти роботу сили тертя об повітря при падінні м'яча?
- \* 11. Яку швидкість треба надати м'ячику, щоб підкинути його на висоту 5 м?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .
12. Якої швидкості могла б набути краплина дощу, упавши з висоти 2 км, якби не було сил тертя й опору повітря?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .
- \* 13. Пружинний пістолет стріляє кульками масою 5 г. Перед вистрілом пружина жорсткістю 5 Н/см стискається на 10 см. *а)* Яку енергію має стиснута пружина? *б)* Яку швидкість має кулька в момент вильоту з дула? *в)* На яку максимальну висоту можна вистрілити таким пістолетом?  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .
14. Яку роботу треба виконати, щоб натягнути тятиву лука у прикладі 32.1? Маса стріли становить 200 г.
15. Потенціальна енергія тіла при його падінні зменшилась на 20 Дж. На скільки збільшилась його кінетична енергія, якщо вважати, що тертя дуже мале?
16. Автомобіль масою 1,5 т збільшив швидкість із 36 км/год до 54 км/год за 5 с. Яку середню потужність розвивав при цьому двигун?
17. Стартують два автомобілі. За один і той самий час після старту перший набрав швидкість, удвічі більшу за швидкість другого. У скільки разів середня потужність двигуна першого автомобіля більша, ніж двигуна другого автомобіля?
18. Швидкість автомобіля масою 5 тонн, що рухається горизонтальною дорогою, зменшилась з 72 км/год до 54 км/год. Яку роботу виконала сила тертя?
19. Якій фізичній величині відповідає вираз  $F \cdot s / t$ ?

## §33. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

Важіль – найпростіший і чи не найдревніший механізм, який використовує людина. Ножиці, кусачки, лопата, двері, весло, кермо і ручка перемикачів педаль в автомобілі – усі вони діють за принципом важеля. Уже під час будівництва єгипетських пірамід важелями піднімали камені масою понад 10 тонн.

### ВАЖІЛЬ. ПРАВИЛО ВАЖЕЛЯ

Важелем називають стержень, який може обертатися навколо деякої нерухомої вісі. Вісь  $O$  перпендикулярна до площини малюнка 33.1. На праве плече важеля довжиною  $l_2$  діє сила  $F_2$ , а на ліве плече важеля довжиною  $l_1$  діє сила  $F_1$ . Довжину плечей важеля  $l_1$  та  $l_2$  вимірюють від вісі обертання  $O$  до відповідних ліній дії сил  $F_1$  і  $F_2$ .

Нехай сили  $F_1$  і  $F_2$  такі, що **важіль не обертається**. Досліди показують, що в такому випадку виконується умова

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad (33.1)$$

Перепишемо цю рівність по-іншому:

$$F_1/F_2 = l_2/l_1 \quad (33.2)$$

Зміст виразу (33.2) такий: у скільки разів плече  $l_2$  довше за плече  $l_1$ , у стільки ж разів величина сили  $F_1$  більша за величину сили  $F_2$ . Це твердження називають правилом важеля, а відношення  $F_1/F_2$  – **виграшем у силі**.

**Отримуючи виграш у силі, ми програємо у відстані**, оскільки треба сильно опустити праве плече, щоб трохи підняти лівий кінець плеча важеля.

Зате весла човна закріплені в ключинах так, що ми хоч і тягнемо за коротке плече важеля, прикладаючи значну силу, зате отримуємо виграш у швидкості на кінці довгого плеча (мал. 33.2).

Якщо сили  $F_1$  і  $F_2$  рівні за величиною і напрямком, то важіль буде в стані рівноваги за умови, що  $l_1 = l_2$ , тобто вісь обертання знаходиться посередині. Звичайно, ніякого виграшу в силі в цьому випадку ми не отримуємо. Рух автомобіля влаштовано ще цікавіше (мал. 33.3).



Мал. 33.1. Важіль



Мал. 33.2. Весла дають виграш у швидкості



Мал. 33.3. Скільки важелів ви бачите на цій фотографії?

Мал. 33.4. Плече  $l_1$  сили  $F$ Мал. 33.5. Плече  $l_2$  найбільше з усіх можливих

## МОМЕНТ СИЛИ. УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

Плечем сили  $l$  називають найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили. У випадку на мал. 33.4, лінія дії сили  $F$  утворює гострий кут з гайковим ключем, плече сили  $l_1$  менше за плече  $l_2$  у випадку на мал. 33.5, де сила діє перпендикулярно до ключа.

Добуток сили  $F$  на довжину плеча  $l$  називають моментом сили і позначають літерою  $M$ :

$$M = F \cdot l \quad (33.3)$$

Момент сили вимірюється в Н·м. У випадку на мал. 33.5 гайку обернути легше, бо момент сили, з якою ми діємо на ключ, більший.

Співвідношення (33.1) показує, що, коли на важіль діють дві сили (мал. 33.1), умова відсутності обертання важеля полягає в тому, щоб момент сили, яка намагається його обернути за годинниковою стрілкою  $F_2 \cdot l_2$ , дорівнював моменту сили, яка намагається обернути важіль проти годинникової стрілки  $F_1 \cdot l_1$ .

Якщо на важіль діє більше, ніж дві сили, правило рівноваги важеля звучить так: **важіль не обертається навколо нерухомої осі, якщо сума моментів всіх сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів усіх сил, що обертають його проти годинникової стрілки.**

Якщо моменти сил не зрівноважені, важіль обертається в той бік, куди його обертає більший за сумою момент.

### ПРИКЛАД 33.1

До лівого плеча важеля довжиною 15 см підвісили важок масою 200 г. На якій відстані від осі обертання потрібно підвісити важок 150 г, щоб важіль перебував в рівновазі?

**Дано:**

$$m_1 = 200 \text{ г}$$

$$m_2 = 150 \text{ г}$$

$$l_1 = 15 \text{ см}$$

$$l_2 = ?$$

**Розв'язання.**

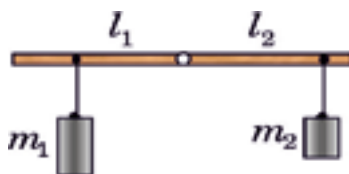
Момент першого важка (мал. 33.6) дорівнює:

$$M_1 = m_1 g \cdot l_1.$$

Момент другого важка:  $M_2 = m_2 g \cdot l_2$ .

Згідно з правилом рівноваги важеля,

$$M_1 = M_2 \text{ або } m_1 g \cdot l_1 = m_2 g \cdot l_2. \text{ Звідси } l_2 = \frac{m_1 \cdot l_1}{m_2}.$$



Мал. 33.6

$$\text{Обчислення: } l_2 = \frac{200 \text{ г} \cdot 15 \text{ см}}{150 \text{ г}} = 20 \text{ см.}$$

**Відповідь:** довжина правого плеча важеля в положенні рівноваги становить 20 см.

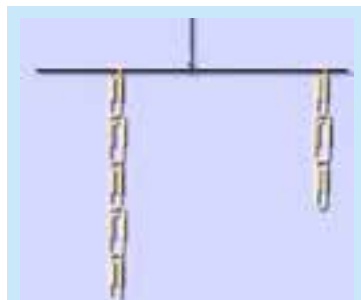


### ДОСЛІД 33.1

**Обладнання:** легкий і достатньо міцний дріт довжиною близько 15 см, скріпки, лінійка, нитка.

**Хід роботи.** Надягніть на дріт ниткову петлю. Приблизно посередині дроту туго її затягніть. Потім підвісьте дріт на нитці (прикріпивши нитку, скажімо, до настільної лампи). Встановіть рівновагу дроту, пересуваючи петлю.

Навантажте важіль із двох сторін від центру ланцюжками з різної кількості скріпок і досягти рівноваги (мал. 33.7). Виміряйте довжини плечей  $l_1$  та  $l_2$  з точністю до 0,1 см. Силу вимірюватимемо в «скріпках». Запишіть результати в таблицю.



Мал. 33.7. Дослідження рівноваги важеля

$N_1$ – скріпок зліва	$l_1$ , см	$N_2$ – скріпок справа	$l_2$ , см	$A = N_1 \cdot l_1$ , скр. · см	$B = N_2 \cdot l_2$ , скр. · см

Порівняйте величини А та В. Зробіть висновок.



### ЦЕ ЦІКАВО

#### Проблеми точного зважування

Важіль використовують в терезах, і від того, наскільки точно збігається довжина плечей, залежить точність зважування.

Сучасні аналітичні терези можуть зважувати з точністю до однієї десятимільйонної частини грама, тобто до 0,1 мкг (мал. 33.8). Причому є два різновиди таких терезів: одні – для зважування легких вантажів, інші – важких. Перший різновид ви можете побачити в аптеці, ювелірній майстерні чи хімічній лабораторії.

На терезах для зважування великих вантажів можна зважувати вантажі вагою до тонни, але



Мал. 33.8. Сучасні аналітичні терези

вони залишаються при цьому дуже чутливими. Якщо ступити на таку вагу, а потім видихнути повітря з легень, то вона зреагує.

Ультрамiкpоваги вимiрюють масу з точнiстю до  $5 \cdot 10^{-11}$  (п'ять стомiльярдних долей грама!)

При зважуваннi на дуже точних терезах виникає багато проблем:

- а) як не старайся, плечi коромисла все одно не рiвнi.
- б) шальки терезiв хоча й мало, але вiдрiзняються за масою.
- в) починаючи з певного порогу точностi, вага реагує на виштовхувальну силу повітря, яка для тiл звичайних розмiрiв є дуже малою.
- г) при розмiщеннi терезiв у вакуумi цього недолiку можна позбутися, але при зважуваннi дуже маленьких мас починають вiдчуватися удари молекул повітря, яке повнiстю вiдкачати неможливо нiяким насосом.

## ДВА СПОСОБИ ПІДВИЩИТИ ТОЧНІСТЬ НЕРІВНОПЛЕЧНИХ ТЕРЕЗІВ

**1. Метод тарування.** Зрівноважимо вантаж за допомогою сипучої речовини, наприклад, піску. Потім знімемо вантаж і важками зрівноважимо пісок. Очевидно, що маса важків дорівнює істинній масі вантажу.

**2\*. Метод почергового зважування.** Зважуємо вантаж на шальці терезів, яка знаходиться, наприклад, на плечі довжиною  $l_1$ . Нехай маса важків, яка приводить до зрівноважування терезів, дорівнює  $m_2$ . Потім зважимо цей самий вантаж на іншій шальці, що знаходиться на плечі довжиною  $l_2$ . Одержимо дещо іншу масу важків  $m_1$ . Але в обох випадках справжня маса вантажу дорівнює  $m$ . В обох зважуваннях виконувалася умова:  $m \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$  і  $m \cdot l_2 = m_1 \cdot l_1$ .

Розв'язуючи систему цих рівнянь, отримаємо:  $m = \sqrt{m_1 \cdot m_2}$ .



### ТЕМА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

**33.1.** Сконструйте терези, на яких можна зважити піщинку та опишіть проблему, з якими ви стикнулися при виконанні цього завдання.

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- ➔ Плечем сили  $l$  називають найкоротшу відстань від осі обертання до лінії дії сили.
- ➔ Моментом сили називають добуток сили на плече:  $M = F \cdot l$ .
- ➔ Важіль не обертається, якщо сума моментів сил, які обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів усіх сил, що обертають його проти годинникової стрілки.



### ВПРАВА 33

1. В якому випадку важіль дає виграш у силі?
2. В якому випадку легше закрутити гайку: *мал. 33.4* чи *33.5*?
3. Чому дверна ручка максимально віддалена від осі обертання?
4. Чому зігнутою в лікті рукою можна підняти більший вантаж, аніж витягнутою?
5. Довгий стержень легше втримувати в горизонтальному положенні, тримаючи його за середину, ніж за кінець. Чому?
6. Прикладаючи силу 5 Н до плеча важеля довжиною 80 см, ми хочемо зрівноважити силу 20 Н. Якою повинна бути довжина другого плеча?
- \* 7. Припустимо, що сили (*мал. 33.3*) однакові за величиною. Чому вони не зрівноважуються?
8. Який предмет можна зрівноважити на терезах так, щоб із часом рівновага порушилася сама собою, без зовнішніх впливів?
- \* 9. Є 9 монет, одна з них – фальшива (вона важча за інші). Запропонуйте процедуру, за допомогою якої фальшиву монету можна однозначно виявити за мінімальну кількість зважувань. Важки для зважування відсутні.
10. Чому вантаж, маса якого менша за поріг чутливості терезів, не порушує їх рівноваги?
11. Навіщо точне зважування проводять у вакуумі?
- \* 12. В якому випадку точність зважування на важільних терезах не залежатиме від дії сили Архімеда?
13. Як визначають довжину плеча важеля?
14. Як обчислюють момент сили?
15. Сформулюйте правила рівноваги важеля.
16. Що називають виграшем у силі у випадку важеля?
17. Чому весляр береться за коротке плече важеля?
18. Скільки важелів можна побачити на *мал. 33.3*?
19. Які терези називають аналітичними?
20. Поясніть зміст формули (33.2).



### З ІСТОРІЇ НАУКИ

До наших часів дійшла історія про те, як цар Сіракуз Гієрон наказав побудувати великий трипалубний корабель – трієру (*мал. 33.9*). Коли корабель був готовий, виявилось, що його не вдається зрушити з місця навіть зусиллями всіх мешканців острова. Архімед придумав механізм, який складався з важелів і дозволив спустити корабель на воду одній людині. Про цю подію розповів римський історик Вітрувій.



Мал. 33.9. Трієра

## §34. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ

Машина – це пристрій, який здійснює механічний рух для перетворення енергії. Термін «машина» (лат. *machina*) означає механізм, пристрій, конструкцію. Термін «механізм», в свою чергу, походить від грецького «*механе*» – рухати.

Проста машина – це механізм, що змінює напрямок чи величину сили без споживання енергії.



Мал. 34.1. Підвісна дорога



Мал. 34.2. Блок змінює напрямок дії сили

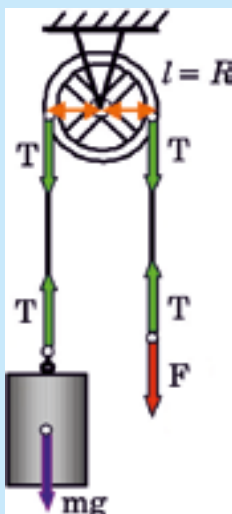
Складні машини, якими зараз користуються, містять так звані прості механізми. Прості механізми можна розділити на дві групи:

1. Важіль, блок, ворот, лебідка, кабестан, поліспаст – їхня робота здійснюється за принципом дії **важеля**.

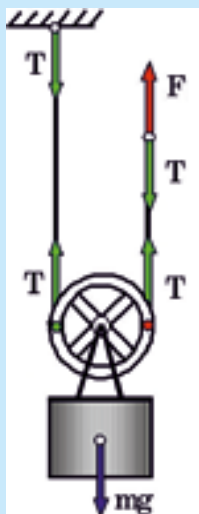
2. Похила площина, гвинт і клин, чію роботу можна звести до принципу похилої **площини**.

### БЛОК ЯК ВАЖІЛЬ

Блок – колесо з жолобом і віссю обертання – використовується в кранах (мал. 34.1), екскаваторах, підвісних дорогах тощо. По жолобу рухається трос, який тягне або підтримує вантажі. Якщо вісь блока закріплена, то він називається нерухомим (мал. 34.2) і використовується для **зміни напрямку дії сили**.



Мал. 34.3. Нерухомий блок – це той самий важіль



Мал. 34.4. Рухомий блок дає двократний виграш в силі



Мал. 34.5. Поліспаст

У важеля є недолік – він має обмежений простір дії. Повернувши плече важеля на деякий невеликий кут, потрібно вернути його в попереднє положення і починати все спочатку. Блок дозволяє зробити процес виконання роботи неперервним. Розглянемо принцип дії нерухомого блока за допомогою мал. 34.3. Сила  $F$ , з якою ми діємо на правий кінець троса униз, дозволяє підняти вантаж угору, і це зручніше, ніж безпосередньо піднімати вантаж.

Сила тяжіння  $mg$  врівноважена направленою вгору силою натягу лівого кінця троса  $T$ . Такі самі за величиною сили натягу  $T$  під дією троса діють униз на блок. Плечі цих сил (вони показані оранжевими стрілками) однакові – отже, виграшу в силі ми не отримали. Правий кінець троса можна тягнути також убік або горизонтально – в такому випадку блок називають **направляючим**.

## РУХОМИЙ БЛОК

Розглянемо мал. 34.4. Направлена вгору сила  $F$ , яка діє на правий кінець троса, врівноважена силою натягу троса  $T$ , направленою униз. Величина сил натягу в будь-якій точці троса однакова. Дві направлені вгору сили натягу  $T$ , що діють на блок, врівноважують силу тяжіння  $mg$ , яка діє на вантаж униз. Отже, **величина сили натягу в тросі вдвічі менша за вагу вантажу**. Прикладаючи силу  $F$ , ми отримуємо виграш в силі вдвічі.

Якщо тягнути за вісь блока вниз з деякою швидкістю  $v$ , то правий кінець троса рухатиметься з вдвічі більшою швидкістю, тобто **рухомий блок можна використовувати і для виграшу в швидкості**.

Можна пояснити виграш в силі, що його дає рухомий блок, інакше: плече сили  $F$  відносно точки  $O$  вдвічі більше за плече сили  $mg$ .

Якщо застосувати багато рухомих блоків, з'єднавши їх у дві групи, то отримаємо **поліспаст** (мал. 34.5). Поліспаст дає багатократний виграш в силі.



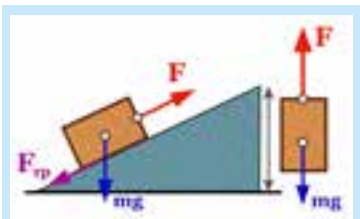
### ДОСЛІД 34.1 «ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛОСИПЕДА»

Нехай хтось утримує велосипед, щоб він не перекинувся. Встановіть педалі так, щоб одна з них займала найнижче положення. Куди почне рухатися велосипед, якщо ви потягнете за цю педаль назад, діючи з силою паралельно дорозі? Дайте спочатку відповідь, міркуючи теоретично, а потім перевірте вашу теорію дослідно.



### ТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 34.1. Який найбільший виграш у швидкості можна отримати при передачі зусилля з педалей на ведуче колесо і за яких умов? Отримайте числовий результат на конкретному велосипеді.
- 34.2. Яким чином зберігає рівновагу велосипедист, коли він їде?



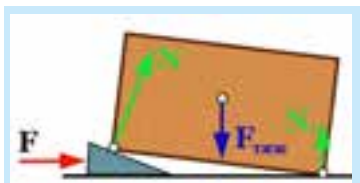
**Мал. 34.6.** Переміщувати тіло по похилій площині легше, ніж піднімати вертикально вгору

## ПОХИЛА ПЛОЩИНА

Ви, напевно, бачили, як масивний предмет, який важко підняти (наприклад, шафу), вантажать на машину. Вантаж піднімають по міцній дошці, один кінець якої знаходиться на землі, а інший – опирається на край кузова. Стрічкові транспортери, ескалатори – приклади похилої площини.

Сила, яку треба прикласти до тіла, щоб рухати його вгору по похилій площині (мал. 34.6), тим менша, **чим менший кут нахилу** площини до горизонту, і вона завжди менша за силу тяжіння  $F_{\text{тяж}} = mg$ , яка діє на тіло. Важкі кам'яні блоки, з яких будували єгипетські піраміди, тягнули вгору по похилому насипу. Чим вищою ставала піраміда, тим довшим доводилося робити насип.

Різновидами похилої площини є клин, гвинт, лемех плуга, шнек м'ясорубки (пізній нащадок гвинта Архімеда).



**Мал. 34.7.** Сила  $N$ , що піднімає ящик, більша, ніж сила  $F$ , з якою ми підбиваємо клин

## КЛИН

Замість того, щоб тягнути тіло по похилій площині, можна похилу площину рухати під тілом. Так чинять, коли потрібно трохи підняти дуже важкий предмет (мал. 34.7). Чим гостріший клин, тим з меншою силою його треба підбивати (але і тим менший ефект підйому).

Клин під дією не надто великої сили удару молота розпирає половинки колоди, діючи на них зі значно більшою силою. Подібно сокира чи колун розщеплюють поліно. Ніж є також різновидом клина, і що гострішим він буде, то легше ним різати.

## ГВИНТ

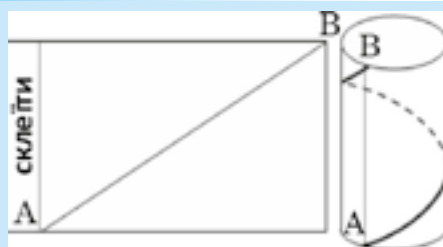
Наступною модифікацією похилої площини є гвинт. Різьба гвинта є похилою площиною, що обвиває циліндр. Нахил такої площини можна зробити дуже малим (за рахунок малого кроку гвинта), а саму площину – дуже довгою.



### ДОСЛІД 34.2

Накресліть на аркуші паперу для креслень нахилену пряму АВ, залишивши смугу для склеювання шириною 0,5 см, як вказано на мал. 34.8. Згорніть аркуш циліндром і склейте його так, щоб точка В опинилася точно над точкою А. Ви переконаєтесь, що пряма АВ перетворилася на спіраль.

Крок спіралі (відстань АВ на поверхні циліндру) буде тим меншим, чим менший кут, під яким ви провели лінію АВ на аркуші.



**Мал. 34.8.** Пряма АВ при згортанні аркуша циліндром перетворюється на гвинтову лінію



**Мал. 34.9.** Шнек м'ясорубки і гвинт струбцини – різновиди похилої площини

Гайка, рухаючись по гвинту болта, може піднімати вантаж, вага якого значно більша за те зусилля, яке прикладають, щоб обертати гвинт чи гайку. Гвинтові підйомники ви можете побачити в автомайстернях, невеликі гвинтові домкрати є в кожному автомобілі. За допомогою гвинтових пристроїв затискають деталі в лещатах і рухають супорти токарних та фрезерних верстатів. На мал. 34.9 зображено шнек від домашньої ручної м'ясорубки і гвинт струбцини (різновид лещат).

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

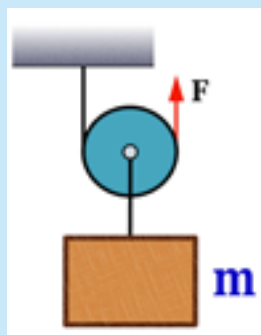
- ➔ Нерухомий блок дозволяє змінити напрямок дії сили.
- ➔ Рухомий блок дає вигравш у силі.
- ➔ Чим менший кут нахилу похилої площини, тим більший вигравш у силі.



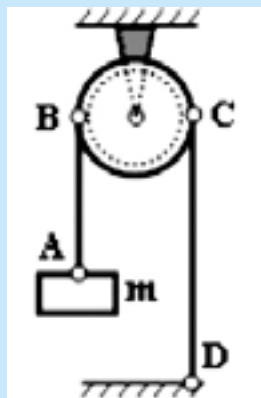
### ВПРАВА 34

1. Як і для чого використовують нерухомий блок?
2. Чому нерухомий блок не дає вигравшу в силі?
3. У скільки разів дає вигравш у силі рухомий блок?
4. Чому при будівництві піраміди зі збільшенням висоти доводилося подовжувати насип?
5. На якому виді транспорту в старі часи використовували блоки?
6. Де в практичній діяльності люди використовують клин?
7. Від чого залежить вигравш у силі при русі тіла похилою площиною?
8. Що називають «вигравшем у силі»? Поясніть відповідь формулою.
9. Який вигравш у силі дає поліспаст, зображений на мал. 34.5?
10. Назвіть прості механізми, які використовуються в трансмісії велосипеда.
11. Поясніть малюнком, чому в процесі їзди змінюється момент сили  $F$ , з якою велосипедист тисне на педаль.

12. Поясніть: *а)* чому переключення на меншу за діаметром зубчатку, зв'язану з заднім колесом, дозволяє велосипедисту рухатися швидше; *б)* чому тепер треба прикласти більше зусилля, щоб обертати педалі?
13. Чому треба так довго крутити ручку домкрата, щоб хоча б трохи підняти корпус автомобіля?
14. Які два простих механізми використано в гвинтовому домкраті?
15. Поясніть, чому гвинт і гвинтовий домкрат є частинними випадками похилої площини?
16. На поверхні вертикально розташованого циліндра дві точки розмістили так, що вони розташовані: *а)* в одній горизонтальній площині; *б)* на одній вертикалі; *в)* довільним чином. Чим є лінія мінімальної довжини, що сполучає ці точки? Дайте відповідь для кожного з трьох вказаних випадків.
17. Як впливає величина кроку гвинта домкрата на виграш у силі, який він може дати?
- \* 18. Прикладаючи силу  $F$ , за допомогою рухомого блока утримують тіло масою  $m = 10$  кг (мал. 34.10). Яка величина сили  $F$ ?  $g = 10$  Н/кг.
- \* 19. Тіло маси  $m = 500$  г перебуває в рівновазі (мал. 34.11). Маса блока  $M = 100$  г. Маса нитки значно менша за масу тіла і блока. З якою силою і в якому напрямку нитка діє: *а)* на тіло  $m$ ? *б)* на підлогу в точці  $D$ ? *в)* Яка вага тіла  $m$ ? *г)* З якою силою та в якому напрямку (вгору чи вниз) нитка діє на блок в точці  $B$  та  $C$ ? *д)* З якою силою і в якому напрямку підвіс блока діє на стелю?  $g = 10$  Н/кг.



Мал. 34.10



Мал. 34.11

## §35. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ (ККД)

У більшості пристроїв, машин і механізмів відбувається передача і перетворення енергії. Для характеристики цих машин з погляду їх корисності вводиться коефіцієнт корисної дії.

### ККД

Коефіцієнтом корисної дії машини або механізму (скорочено – *ККД*) називають помножене на 100% відношення корисної роботи  $A_{\text{кор}}$ , яку виконує машина, до всієї енергії, затраченої на виконання цієї роботи  $A_{\text{затр}}$ :

$$ККД = \frac{A_{кор.}}{A_{затр.}} \cdot 100 \% \quad (35.1)$$

### ПРИКЛАД 35.1

Максимальний коефіцієнт корисної дії лампи розжарення становить 5%. Це означає, що на 100% спожитої електроенергії на світло перетворюється 5%, а решта – на тепло.

Нехай за допомогою похилої площини ми підняли певний вантаж маси  $m$  на висоту  $h$ . Корисна робота полягає в піднятті вантажу на певну висоту  $h$  і становить:  $A_{кор.} = mgh$ . Але робота була затрачена не тільки для підняття вантажу, але й для подолання сили тертя ковзання при русі по площині. Отже, затрачена робота дорівнює:  $A_{затр.} = A_{кор.} + |A_{тр.}|$ . Робота тертя взята за модулем, оскільки вона від'ємна.

Затрачена робота завжди більша за корисну, тому ККД реальної машини не може досягти 100%, а тим більше перевищити його. Бажано, і це завдання величезної економічної ваги, досягти того, щоб затрати на виконану роботу не набагато перевищували корисну роботу, тобто щоб ККД машин був якомога вищим. У таблиці 35.1 наведено дані про ККД деяких машин і пристроїв.

Таблиця 35.1

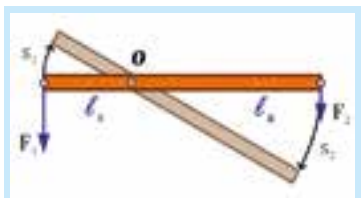
Коефіцієнти корисної дії деяких машин та механізмів, %

Сонячна батарея	до 6 – 40	Паливний елемент	до 85
Мускули	14 – 27	Гідротурбіна	до 90
Холодильник	40 – 50	Електродвигун	до 99
Газова турбіна	до 40		
Дизельний двигун	до 50	Лампа розжарювання	0,7 – 5
Парова турбіна	до 60	Лампа денного світла	до 15
Вітрогенератор	до 60	Світлодіоди	до 35

### ПРИКЛАД 35.2

Користуючись мал. 34.6, виведіть формулу для розрахунку ККД похилої площини.

**Розв'язання.** Корисна робота при застосуванні похилої площини полягає в тому, щоб підняти тіло на висоту  $h$ . Отже,  $A_{кор.} = mgh$ . Затрачена робота дорівнює:  $A_{затр.} = F \cdot L$ . Таким чином,  $ККД = \frac{mgh}{F_2 \cdot L} 100 \%$ .



**Мал. 35.3.** Плече, на яке діє більша сила, описує при повороті важеля коротшу дугу, тому виконується рівність  $F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$

## «ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО» МЕХАНІКИ

Нехай важіль під дією сил  $F_1$  та  $F_2$  знаходиться в рівновазі. Це означає, що:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2. \quad (35.2)$$

Повільно повернемо важіль у напрямку дії сили  $F_2$  на деякий невеликий кут. Кінець важеля при цьому опише дугу довжиною  $s_2$ . Інший кінець важеля при цьому опише дугу довжиною  $s_1$  (мал. 34.3). При цьому сили  $F_1$  та  $F_2$  повинні постійно діяти перпендикулярно до важеля. Оскільки обидві частини важеля повернулися на один і той самий кут, а кінці описали дуги радіусами  $l_1$  та  $l_2$ , виконується рівність:

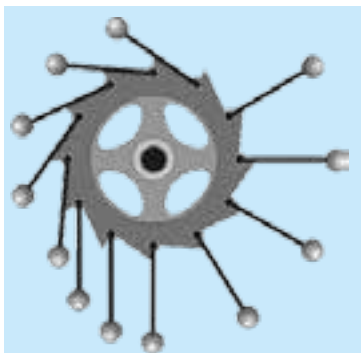
$$l_1/l_2 = s_1/s_2 \quad (35.3)$$

Це означає, що довше плече описує й довшу дугу. Із рівностей (35.2) та (35.3) слідує, що:

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2 \quad (35.4)$$

Рівність (35.4) означає, що робота сили  $F_1$  дорівнює роботі сили  $F_2$ . Отже, важіль дає вигравш у силі, але не дає вигравшу в роботі.

**«Золоте правило» механіки: вигравши за допомогою деякого механізму в силі, ми обов'язково програємо у відстані (і навпаки).**



**Мал. 35.4.** Проект вічного двигуна

## ВІЧНИЙ ДВИГУН – «PERPETUUM MOBILE»

**Perpetuum mobile** (лат.) – вічний рух. Століттями винахідники намагалися винайти конструкцію машини, яка би працювала вічно (мал. 35.4), але жодна з них не функціонувала.

Інколи навіть досить складно розібратися, в чому ж помилявся творець того чи іншого проекту вічного двигуна. Як тільки стало зрозумілим, що закон збереження енергії є універсальним законом природи, наукові установи перестали приймати до розгляду проекти таких машин. Уперше так вчинила французька Академія наук у 1848 році.

**Вічний двигун першого роду – це машина, яка виконує роботу, більшу за витрачену на виконання цієї роботи енергію.**

Але жоден з відомих на сьогоднішній день механізм чи машина не дають вигравшу в роботі.



## ТВОРЧЕ ЗАВДАННЯ

35.1. Яка теоретична межа швидкості руху велосипедиста за відсутності сил опору? Від чого вона залежить?

## КОРОТКІ ПІДСУМКИ

- Коефіцієнтом корисної дії машини або механізму називають відношення корисної роботи, яку виконує машина, до всієї енергії, затраченої на виконання цієї роботи.
- «Золоте правило» механіки: вигравши за допомогою деякого механізму в силі, ми обов'язково програємо у відстані (і навпаки).
- Згідно з законом збереження енергії, неможливо створити вічний двигун першого роду.



## ВПРАВА 35

1. Чому затрачена робота завжди більша за корисну?
  2. В яких межах знаходиться ККД машин і механізмів?
  3. Чи можна за допомогою похилої площини отримати виграш у роботі?
  4. Чому французька академія наук відмовилася розглядати проекти «вічних» двигунів?
  5. Який двигун називають «вічним двигуном першого роду»?
  6. Які машини, згідно з табл. 35.1, мають найвищий ККД?
  7. Які машини найбільш вигідно використовувати?
  8. Обчисліть ККД машини, яка затратила 10 000 Дж енергії, виконавши корисну роботу 8 500 Дж.
  9. Потенціальна енергія тіла на початку падіння становить 200 Дж. Якою буде кінетична енергія тіла на момент, коли потенціальна енергія становить 75 Дж? Втрати енергії можна нехтувати.
  10. Чи вигідно, з точки зору витрат енергії, використовувати похилу площину?
  11. Чому ККД вічного двигуна повинен бути більшим або дорівнювати 100%?
  12. В який бік повинен обертатися «вічний» двигун, зображений на мал. 35.4?
  13. Чому, згідно з задумом винахідника, «вічний» двигун, зображений на мал. 35.4, повинен обертатися за годинниковою стрілкою?
  14. Яку корисну роботу при затраті 6 000 Дж енергії палива виконає дизельний двигун, ККД якого 40%?
  15. Корисна робота, виконана за допомогою певного механізму, дорівнює 200 Дж. Чому дорівнює затрачена робота, якщо робота сили тертя склала 40 Дж?
  16. Прикладаючи силу 20 Н до плеча важеля завдовжки 110 см, вдалося підняти вантаж масою 10 кг, прикріпленій до другого плеча важеля завдовжки 20 см, на висоту 5 см. Чому дорівнюють: а) корисна робота; б) робота сил тертя; в) ККД важеля?  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .
  17. Чому важіль може дати виграш у силі, але не дозволяє отримати виграшу в роботі?
- \* 18. Чому долати відстань на велосипеді можна швидше і легше, аніж іти пішки?

## §36. РОЗВИТОК ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ



Мал. 36.1. Затяжний стрибок

### НЕЗВИЧНІСТЬ ЗВИЧАЙНОГО

Декілька років тому австрійський парашутист здійснив затяжний стрибок зі стратосфери з висоти 39 км (мал. 36.1). Оскільки повітря на такій висоті дуже розріджене, то падіння досить довго було майже вільним.

Вільне падіння – дивовижне і не до кінця вивчене явище. По-перше, вільно падаюче тіло нічого не важить – воно перебуває в стані невагомості. По-друге, і це найдивовижніше, – всі вільно падаючі тіла незалежно від маси падають однаково, тобто з однаковим прискоренням. Можливо, усі ці думки промайнули в голові сміливця, який не побоявся стрибнути вниз майже з космосу, щоб відчутти радість вільного польоту.



Мал. 36.2. Пізанську вежу Галілей використав для перевірки гіпотези Аристотеля

### ГІПОТЕЗИ ПОТРІБНО ПЕРЕВІРЯТИ

У повітрі важчі тіла випереджають легкі: про це свідчить наш повсякденний досвід. Видатний вчений Стародавнього світу Аристотель свого часу висловив гіпотезу, що важчі тіла й у вакуумі падатимуть швидше. Лише через 2000 років італійський фізик Галілео Галілей наважився перевірити гіпотезу Аристотеля. Він став першим в історії вченим, який спробував підтвердити своє припущення про незалежність прискорення вільного падіння від маси тіла за допомогою досліду. Кидаючи різні за масою тіла з похилої Пізанської вежі (мал. 36.2) Галілей помітив, що за умови малого опору повітря **тіла різної маси падають практично з однаковим прискоренням.**

### ВІДМІННІСТЬ АНТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ВІД СУЧАСНОГО

Виявляється, люди не завжди досліджували фізичні явища однаково. В античному світі було прийнято перевіряти гіпотези не дослідно, а тільки теоретично розмірковувати над ними.

Ще одна відмінність – у часи Стародавньої Греції не було місця для вакууму. Розум тодішніх вчених не сприймав пустого простору. Аристотель вважав, що вода слідує за поршнем насоса, тому що природа «боїться» пустоти.

Така теорія не давала можливості будувати систему водопроводу в сьогодинському розумінні цього слова. У знаменитих римських акведуках (мал. 36.3) вода текла струмочком в похилому жолобі. Що вода може опускатися в трубі, а потім знову підійматися – не спадало на думку.

Тільки досліди Торрічеллі (мал. 36.4) показали, що існує атмосферний тиск і що він дуже великий. На кожен квадратний метр поверхні діє сила, яку чинив би тягар у 10 тонн. Зверніть увагу, що **світ змінюють не тільки нові знання і факти, а й новий спосіб мислення.**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ВАКУУМНОГО НАСОСУ

Те, що нам сьогодні здається звичним, колись було дивовижним. Ми вже говорили про те, які цікаві досліди показував своїм співвітчизникам бургомістр міста Магдебург Отто фон Геріке. Він зміг це зробити, винайшовши вакуумний насос.

Біля поверхні землі спостерігати вільне падіння важко: заважає повітря. Але видатний англійський фізик Ісаак Ньютон використав вакуумний насос, щоб викачати повітря з скляної труби і спостерігав, як свинцева дробинка і пір'їнка падали разом. Таким чином Ньютон підтвердив спостереження **Галілея: тіла різної маси у стані вільного падіння падають однаково.**

Здавалося б, що з вільним падінням вже все ясно, але ще Ньютона, а згодом і Ейнштейна непокоїла загадка маси.

## ЗАГАДКА ДВОХ МАС

Коли ми не можемо миттєво прискорити чи зупинити тіло, то це тому, що при зміні швидкості починає проявляти себе інертна маса. Коли важка валіза відтягує нам руку вниз, сигналізує про себе гравітаційна, тобто «важка» маса. Причому обидві маси в кожного тіла однакові. А от цей факт якраз і не очевидний!

У місті Бремен є лабораторія, в якій досліджують вільне падіння у вакуумній трубі висотою 140 м (мал. 36.5). Це гігантський варіант трубки Ньютона. Її ще на-



Мал. 36.3. Акведук – античний водовід



Мал. 36.4.  
Тиск  
атмосфери  
і вакуум



**Мал. 36.5.** 140 м вежа для дослідження вільного падіння



**Мал. 36.6.** Радіотелескоп



**Мал. 36.7.** Зіткнення галактик

зивають п'ятисекундною трубою, бо час падіння в цій трубі триває приблизно 5 с.

На що сподіваються дослідники? Вони сподіваються, що, збільшивши точність вимірювання, вдасться помітити хоч і маленьку, але розбіжність між інертною і гравітаційною масами тіла. Поки що їхні зусилля не є успішними.

## ТЕМНА МАСА

Вчені ще не встигли до кінця розібратися з вільним падінням, а одночасно від астрофізиків і дослідників у галузі ядерної фізики надійшли дані про можливість існування третього різновиду маси, яку поки що називають «темною», і яку існуючі прилади не здатні сприймати.

Кожен крок уперед в науці дає нові факти і загадки, які починають вивчати вже інші покоління дослідників. Два нанограми протонів в такій супермашині як колайдер вдалося за десять годин розігнати майже до швидкості світла. Але, якщо подумати, то один грам протонів потрібно буде розганяти протягом мільйонів років – ось такий теперішній стан нашої науки з погляду майбутнього!

## ПОХОДЖЕННЯ ВСЕСВІТУ

Астрофізики встановили, що Всесвіт розширюється, більшість галактик віддаляються від нас, одна від одної, а швидкість найвіддаленіших об'єктів досягає 240 000 км/с. Це навело вчених на думку, що наш Всесвіт з'явився близько 15 млрд років тому в результаті гігантського вибуху. Відлуння цього вибуху «звучить» ще й досі, а «почути» його можна за допомогою дуже чутливих антен радіотелескопів (мал. 36.6), які постійно «прослуховують» космічний простір.

У різних віддалених куточках Всесвіту можна спостерігати народження і загибель зір, а також катастрофи надзвичайного масштабу – вибухи наднових зірок і зіткнення цілих галактик (мал. 36.7).

## ОСТАННІ ДОСЯГНЕННЯ АСТРОФІЗИКИ

Сила тяжіння діє на відстані, але як вона передається від тіла до тіла – не зовсім зрозуміло. Гравітаційна сила викликає тільки притягання, і ще ніколи не спостерігалось відштовхування. Зараз, завдяки ефекту гравітаційного лінзування (мал. 36.8), з'явилися дані, які свідчать про прискорене розширення Всесвіту, а це можна пояснити хіба що наявністю **антигравітації** й **«темної енергії»**.

Обертання краю нашої Галактики відбувається значно швидше, ніж це розраховано за нині наявними формулами, що свідчить про існування **прихованої («темної») маси**, яку сучасні прилади навіть не здатні сприйняти.

Зорі бувають набагато більшими й гарячішими за Сонце, а бувають і зовсім маленькими й порівняно холодними. Деякі з них стискаються силами тяжіння до такої міри, що один кубічний сантиметр речовини так званої нейтронної зорі важить сто мільйонів тонн. Інші стискаються ще більше і зникають із поля зору, перетворюючись на **«чорну діру»**, яка не випускає зі своєї сфери дії навіть світло. Усі ці надзвичайно цікаві дані отримані за допомогою спектрометрів і цифрових фотокамер. Прилади ці працюють цілодобово – як на Землі, так і в космосі.



Мал. 36.8. Гравітаційні лінзи, утворені тяжінням віддалених галактик, свідчать про новий вид енергії

## КОСМІЧНІ ТЕЛЕСКОПИ

Сучасні *системи зв'язку* дають змогу отримувати інформацію від різноманітних пристроїв навіть не виходячи з дому – через мережу Інтернет. Саме так з американського космічного телескопа «Габбл» (мал. 36.9) отримано фотографію галактики М 30.

На орбіті знаходиться й український телескоп «Астрон-1», а космічний апарат «СІЧ-1М» (мал. 36.10) досліджує Світовий океан. Ці складні прилади й апарати спроектували українські фізики. Отримана інформація опрацьовується й аналізується. Ось так і з'являються малі й великі відкриття.

## ЩО МОТИВУЄ ДОСЛІДНИКІВ

У наш час повітряних лайнерів і космічних ракет людей важко чимось здивувати. Але завжди вартою подиву є людська допитливість. Пригада-



Мал. 36.9. Знімки, зроблені космічним телескопом «Хаббл», дуже чіткі, бо не заважає атмосфера



Мал. 36.10. Український космічний апарат «СІЧ-1М»

ємо ще раз, що першими відірвалися від землі повітряні кулі, які побудували брати Монгольф'є, тому що дуже хотіли літати.

Внизу біля відкритого отвору кулі вони розпалили вогонь із соломи і шерсті. Коли повітря всередині розігрілося, куля полетіла і піднялася на висоту 1 000 м, пробувши в повітрі 10 хвилин. Вона приземлилася за півтори милі (2,4 км) від місця старту.

У вересні 1782 року у Версалі відбувся політ подібної кулі за присутності короля й королеви Франції, придворних і послів різних країн. Першими пасажирами були вівця, півень і качка. Політ тривав 23 хвилини, а куля пролетіла 9 км. Посол Росії у Франції Барятинський писав «о подняттии на воздух великой тягости посредством дыма»: «Величие сего зрелища и чувствование, какое происходило в нескольких ста тысячах народа, описать никак невозможно, ибо радость, страх, ужас и восторг видимы были на всех лицах».



**Ісаак Ньютон (Isaac Newton, 1643–1727)** – англійський фізик і математик. Відкрив закон всесвітнього тяжіння, розклав біле світло на кольори й сформулював три основні закони механіки. Його наукова праця «Основи натуральної філософії» одна з найвидатніших в історії науки.

Народився 1643 р. в невеличкому англійському селі Вулсторп. Дитиною любив майструвати різні механічні пристрої, самотужки побудував невеличкий млин. У 12 років його віддали на навчання в міську школу ближнього містечка Грентем. Спочатку він учився посередньо, але в старших класах почав наполегливо працювати й став найкращим учнем.

Потім Ньютон навчався в Трініті-коледжі. І до сьогодні біля воріт коледжу росте яблуня в пам'ять про яблуко, яке «спричинило» відкриття закону тяжіння.

У віці 27 років Ньютон став професором Кембриджського університету. Цей університет славиться фізичною і математичною школою й дотепер. У 1668 р. Ньютон сконструював перший дзеркальний телескоп (мал. 37.10), який потім удосконалив. За цей винахід його обрали членом Лондонського королівського товариства (англійська академія наук). На основі переконливих експериментів з розкладання білого світла на сім складових кольорів він розвинув теорію світла.

У 1688 р. Ньютона обрали членом англійського парламенту, і він два роки пробував у Лондоні. Пізніше Ньютона призначили директором Монетного двору Англії (у наш час це посада міністра фінансів). Він провів дуже важливу для країни грошову реформу і жорстко боровся з казнокрадами.

У 1703 р. його обрали президентом Лондонського королівського товариства, а в 1705 р. королева Анна присвоїла йому рицарський титул і подарувала маєток. Вперше така королівська милість була надана за наукові заслуги.

Ньютон був оригінальною людиною, і про нього розповідають багато цікавих історій. Друзі, які навідували ученого, помітили, що хвіртка біля його будинку важко

відкривається. Виявилось, що Ньютон прилаштував до неї водяну помпу, і кожен відвідувач накачував трохи води в резервуар на горіщі.

Ньютон не любив відволікатися від роботи і, щоб кішка не докучала, просячись до хати, зробив у дверях невеликий отвір. Коли з'явилися кошенята, він зробив ще сім менших отворів, бо кошенята зчиняли страшенний галас, коли кішка пролазила у свій отвір без них.

## §37. ВПЛИВ ФІЗИКИ НА СУСПІЛЬНИЙ РОЗВИТОК ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

Увесь навколишній простір заповнений радіохвилями, які приходять до нас не тільки від радіо- і телевізійних станцій, а й з космосу – від галактик і квазарів протягом мільйонів і мільярдів років, вдень і вночі. Проте ще 150 років тому ніхто про них нічого не знав, крім однієї людини – Джеймса Клерка Максвела, який відкрив існування електромагнітних хвиль.

### ВІД ВІДКРИТТЯ – ДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Радіомовлення, як ми його тепер розуміємо, існує вже біля 100 років. Таким чином, інопланетні цивілізації, які здатні прийняти радіопередачі земних радіостанцій, повинні знаходитись від нас на відстані не більшій, ніж 100 світлових років. Ті, що мешкають далі, навіть не підозрюють про наше існування! Це не так уже й далеко, саме на такий відстані потужні телескопи можуть встановити наявність у зорі планет.

Насправді радіозв'язок здійснюється досить складним способом через систему ретрансляторів, телевізійних супутників і волоконно-оптичних ліній.

Цілком можливо, що в природі існують способи телекомунікації набагато кращі і надійніші, ніж радіохвилі, але ми нічого про них не знаємо.

Усього 50 років назад телевізор міг прийняти максимум 12 телевізійних каналів, а реально їх було не більше шести, і якість зображення була невисокою. Телевізійні приймачі були громіздкими, а розміри екранів – маленькими.

Порівняйте з сьогоdnішніми можливостями – тисячі каналів, зображення високої чіткості,



Цьому радіоприймачу  
усього 60 років



Цьому телевізору –  
50 років

3D-зображення, можливість прийняти сигнал навіть на кишеньковий прилад через Інтернет.

## ПРИСКОРЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ

Щоб теоретичні знання втілилися в створення парової машини, знадобилося біля 100 років. Шлях радіо – від ідеї до широкого вжитку – також становив близько 100 років, фотографії – 110 років. В останнє 20-ліття спостерігається небувале прискорення технічного і технологічного прогресу. Мобільні телефони системи 3G створили близько 10 років тому. П'ять років тому з'явилися смартфони, три роки тому – планшети.



Можливо, через 20 років цей екран також викличе посмішку



Смартфон



Планшети з'явилися зовсім недавно



**Мал. 37.1.** Стрімкий перехід від плівок до «цифри»

У галузі фотографії сталася справжня революція. Відбувся спочатку перехід до машинного друку фотографій, а згодом – до створення цифрових фотоапаратів і цифрових зображень (*мал. 37.1*). А ще не так давно фахівці сперечалися, чи вистачить наявних у світі запасів срібла для виготовлення фотоплівки! Основою нових технологій є мікроелектроніка і дослідження в галузі напівпровідникових матеріалів.

## МОЖЛИВОСТІ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Інженерів давно хвилює ідея космічного ліфту – тросу, який зв'яже наземну станцію з геостационарним супутником (*мал. 37.2*) і замінить дорogi ракети. По цьому тросу довжиною 36 000 км ліфт перевозитиме на космічну станцію вантажі. Донедавна ця ідея належала до фантастичних, оскільки сталевий трос рветься під власною вагою вже при довжині 6 км.

Поява у 1991 році вуглецевих нанотрубок (*мал. 37.3*) надала винахідникам оптимізму. Новий матеріал буде втричі легший і в 120 разів міцніший за сталь.

Такий нанотрос діаметром 1 мм зможе витримати вантаж 10 т, і це не межа.

Багато лабораторій цілеспрямовано створюють матеріали з наперед заданими властивостями, і ця галузь науки набуває промислового розмаху.

Ще один дивовижний матеріал створено зовсім недавно – аерогель (*мал. 37.4*). Він міцніший за цеглу, а за густиною майже такий, як повітря. Він дуже погано проводить тепло, і його можна буде використовувати як ідеальний теплоізолятор.

## РОБОТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

В останні десятиріччя відбувається бурхливий розвиток нових галузей механіки, зокрема робототехніки. Наприклад, сучасне виробництво автомобілів майже повністю роботизоване (*мал. 37.5*).

Багато лабораторій і компаній інтенсивно працюють над створенням роботів, які можуть ходити і самостійно навчатися. Роботи звільнили людей від важкої та одноманітної роботи. З'являється все більше заводів, де можна побачити тільки поодиноких інженерів і техніків, які зайняті переважно творчою працею. Підвищилася якість продукції, адже роботи не помиляються.

Поява машин зі штучним інтелектом приводить до створення надійних систем управління. Вже з'явилися автомобілі, які їздять без водія, а комп'ютерні програми давно обігрують grosмейстерів. Інженери створюють роботів, керованих на відстані, які досліджують інші планети (*мал. 37.6*).

## РОЗВИТОК ДОСЛІДЖЕНЬ

Історики науки помітили, що більшість відкриттів було зроблено не через безпосередню практичну необхідність, а просто з цікавості.

Насправді відбувається постійна взаємодія між розвитком науки і її застосуванням на прак-



**Мал. 37.2.** Космічний ліфт



**Мал. 37.3.** Вуглецеві нанотрубки набагато легші та міцніші за сталь



**Мал. 37.4.** Аерогель має густину, як у повітря, і міцність цегли



**Мал. 37.5.** Роботи звільнили людей від важкої та одноманітної праці



Мал. 37.6. Марсохід

тиці. Без конструкторського бюро Антонова не було б у нас таких літаків, а без великого бажання літати – не було б конструкторів.

Україна має значні досягнення в розвитку як практичної, так і теоретичної механіки. У нас будують найбільші в Європі та світі літаки (мал. 37.7), космічні ракети, оптичні та радіотелескопи, теплові, атомні та гідроелектростанції.

Складність створених машин і механізмів вражає (мал. 37.8). Ці галузі науки і техніки потребують великої кількості наукових та інженерних кадрів, які здатні придумати щось нове.



Мал. 37.7. Щоб чогось досягти, потрібно мріяти



Мал. 37.8. Турбореактивний двигун сучасного літака має біля 6000 високотехнологічних деталей

## ТЕХНІЧНИЙ І НАУКОВИЙ ПРОГРЕС ПОТРЕБУЄ НОВИХ ІДЕЙ

Класична механіка, створена більш як 300 років тому Ісааком Ньютоном, з її абсолютним і непохитним простором і часом в 1905 році зазнала драматичних випробувань з боку нової механіки Альберта Ейнштейна, в якій часом можна керувати, сповільнюючи його майже до нуля при великих швидкостях. Це відкрило принципову можливість мандрівок у майбутнє, і справа тільки за технічним втіленням висновків теорії відносності.

Проте у теорії Ейнштейна є фундаментальне обмеження, яке вже 100 років не дає спокою любителям науки і науковцям – швидкості світла у вакуумі не може досягти жоден об'єкт, крім світла. Але це не спинило американського фізика українського походження Олексу-Мирона Біланюка, який створив теорію «тахіонів» – частинок, що можуть рухатися зі швидкістю більшою, ніж світлова. І хоча поки що існування цих частинок не підтверджене експериментами, не виключено, що саме хто-небудь із вас це зробить.

## СУЧАСНИЙ СТАН ФІЗИЧНОЇ НАУКИ. КОЛАЙДЕР

У ЦЕРНі на кордоні між Швейцарією і Францією, недалеко від м. Женева, знаходиться найбільший і найдорожчий на сьогодні фізичний прилад, побудований для дослідження глибоких властивостей матерії. Ця унікальна машина працює за найновішими технологіями. У кільцевому тунелі довжиною майже 27 км і розташованому на середній глибині 100 м знаходяться дві трубки (рис. 37.9), всередині яких рухаються назустріч один одному два пучки протонів. Вакуум у трубках у 10 разів глибший, ніж у космосі.

Протони утримуються на коловій орбіті 9500 надпровідними магнітами, обмотки яких охолоджені до температури  $-271^{\circ}\text{C}$ .

По трубах, у яких знаходяться надпровідні кабелі, тече рідкий гелій, що перебуває у надтекучому стані, а струм у кабелі становить близько 12 000 А (двигуни тролейбуса чи трамвая споживають 200–300 А).

**Протони кількістю дві мільярдні долі грама** прискорюються протягом десяти годин до швидкості, яка становить 99,9999991% від швидкості світла. Кільце прискорювача протони проходять 11000 разів за секунду. В результаті ця мізерна за масою кількість частинок набуває енергії, яку має швидкісний потяг масою 140 тонн на швидкості 150 км/год (мал. 37.10).

Для установки CMS, збудованої для вивчення протон-протонних зіткнень і пошуку бозона Хіггса, харківський Інститут монокристалів створив 22 тисячі детекторів з радіаційно стійкої пластмаси. Крім того, Україна поставляє залізо для магнітів та унікальні кристали.

**Завдяки колайдеру** вчені вже сьогодні отримують і зберігають **антиречовину** (антиводень), вчать лікувати рак за допомогою протонів і антипротонів, відкрили частинку Хіггса (6 липня 2012 р.), намагаються зрозуміти природу темної матерії і темної маси.



**Мал. 37.9.** Система охолодження і дві трубки, якими рухаються протони



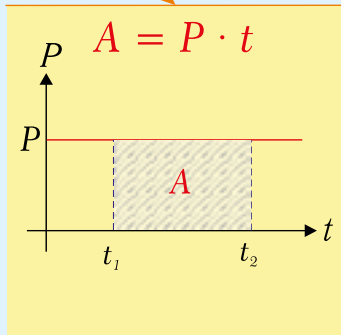
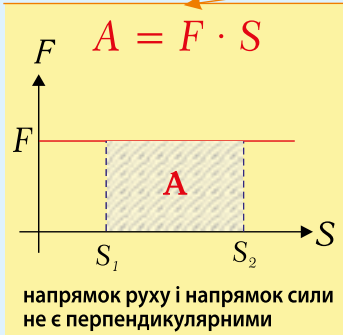
**Мал. 37.10.** Цей 140-тонний потяг на швидкості 150 км/год має таку саму енергію, як дві мільярдні долі грама протонів, розігнаних майже до швидкості світла

## ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4

## МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

## МЕХАНІЧНА РОБОТА

$$A, \text{Дж}$$



$$A = E_2 - E_1$$

## ПОТУЖНІСТЬ

$$P, \text{Вт}$$

характеризує  
швидкість  
виконання  
роботи

$$P = \frac{A}{t}$$

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$$

## МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

характеризує здатність тіла виконувати роботу

$$E = E_K + E_P, \text{Дж}$$

## КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ

енергія рухомих тіл

$$E_K = \frac{mv^2}{2}$$

## ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

енергія можливості

Потенціальна енергія тіла,  
що знаходиться на деякій висоті

$$E_P = mgh$$

Потенціальна енергія пружно  
деформованого тіла

$$E_P = \frac{kx^2}{2}$$

МОМЕНТ СИЛИ  $M, \text{Н} \cdot \text{м}$ 

$$M = F \cdot l$$

## ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Енергія не виникає ні з чого і не зникає безслідно. Кількість її залишається сталою. Вона тільки переходить з одного виду в інший або від одного тіла до іншого

Повна механічна енергія тіла (системи) не змінюється, якщо немає втрат на тертя

## Тіло перебуває в стані рівноваги, якщо:

Рівнодійна всіх сил, що діють на тіло, дорівнює нулю

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$$

Сума моментів сил, що діють на тіло, дорівнює нулю

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

## ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ

### ВАЖІЛЬ



Виграш у силі залежить від співвідношення плечей

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$



### БЛОК

#### НЕРУХОМИЙ

Виграшу у силі не дає

#### РУХОМИЙ

Виграш у силі удвічі

### ПОХИЛА ПЛОЩИНА



Виграш у силі визначається висотою  $h$  і довжиною  $l$  похилої площини

$$\frac{P}{F} = \frac{l}{h}$$

## ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО МЕХАНІКИ:

ВИГРАЮЧИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДЕЯКОГО МЕХАНІЗМУ У СИЛІ,  
МИ ОБОВ'ЯЗКОВО ПРОГРАЄМО У ВІДСТАНІ (І НАВПАКИ)

## КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ (ККД)

$$\eta = \frac{A_{\text{кор.}}}{A_{\text{затр.}}} \cdot 100 \%$$

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

## ВИБЕРІТЬ ПРАВИЛЬНУ ВІДПОВІДЬ:

1. Яку роботу виконує сила 20 Н, яка переміщує тіло на відстань 5 м у напрямку дії сили?

А	Б	В	Г
4 Дж	80 Дж	100 Дж	У

2. Яка потужність двигуна, що виконує роботу 2 400 Дж за 2 хвилини?

А	Б	В	Г
20 Вт	1200 Вт	120 Вт	4800 Вт

3. Тіло масою 5 кг знаходиться на висоті 4 м. Яка енергія цього тіла?

А	Б	В	Г
40 Дж	10 Дж	20 Дж	200 Дж

4. М'яч падає з певної висоти. Як змінюється його повна механічна енергія? Тертям можна нехтувати.

А	Б	В	Г
збільшується	зменшується	не змінюється	неможливо визначити

5. М'яч впав з висоти 2 м і підстрибнув на висоту 1,5 м. Визначте шлях і переміщення м'яча.

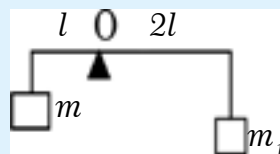
А	Б	В	Г
3,5 м і 1,5 м	0,5 м і 2,5 м	2,5 м і 0,5 м вгору	2,5 м і 0,5 м униз

6. Кінетична енергія тіла при його польоті вгору зменшилась на 100 Дж. Як змінилась його потенціальна енергія, якщо вважати, що тертя дуже мале?

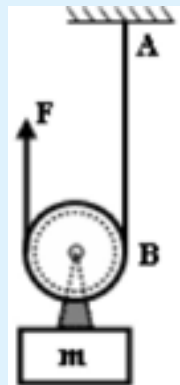
А	Б	В	Г
зменшилась на 100 Дж	збільшилась на 100 Дж	не змінилась	зменшилась на 50 Дж

## РОЗВ'ЯЖІТЬ ЗАДАЧІ

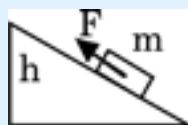
1. Маса тіла  $m = 2$  кг. Яка маса тіла  $m_1$ ? (мал. 4.1)
2. Визначте потужність сили 50 Н, під дією якої тіло перемістилося на 4 м за 10 с.
3. Швидкість велосипедиста зменшилася з 5 м/с до 2 м/с. Як змінилася його кінетична енергія? Маса велосипедиста разом з велосипедом дорівнює 80 кг.
4. Прикладаючи силу 25 Н до плеча важеля довжиною 20 см, ми хочемо зрівноважити силу 10 Н. Якою повинна бути довжина другого плеча важеля?
5. Яку корисну роботу виконала машина, якщо затрачена робота становить 2 000 Дж, а її ККД дорівнює 60%?
6. Маса вантажу  $m = 5$  кг, маса блока  $M = 500$  г, масою нитки можна знехтувати (мал. 4.2). **а)** Яка сила  $F$  потрібна, щоб рівномірно піднімати вантаж? З якою силою  $i$  в якому напрямку діє нитка: **б)** на стелю в точці А, **в)** на блок у точці В?
7. Відро з цементом масою 25 кг піднімають за допомогою нерухомого блоку на висоту 5 м, діючи на вільний кінець мотузки униз із силою 250 Н. Запишіть формули для визначення: **а)** корисної та **б)** затраченої роботи. **в)** Запишіть остаточну формулу для обчислення ККД використаного пристрою. **г)** Обчисліть числове значення ККД.
8. При рівномірному русі вантажу маси  $m = 1$  кг по похилій площині (мал. 4.3) до нього прикладають силу  $F = 4$  Н. Визначте ККД похилої площини, довжина якої  $l = 1$  м, а висота  $h = 20$  см. Вважайте, що  $g = 10$  Н/кг.
9. Знайдіть кінетичну енергію тіла масою 300 г, яке впало з висоти 2 м (безпосередньо перед ударом об землю).
10. Яка кінетична та потенціальна енергія стріли масою 50 г, випущеної вертикально вгору зі швидкістю 30 м/с, через 2 с після початку руху?
11. М'ячик кинули вниз із висоти 1 м. Якою була початкова швидкість м'ячика, кинутого вертикально вниз з висоти 1,2 м, якщо від підлоги він підскочив на висоту 1,5 м? Втратами енергії можна знехтувати.



Мал. 4.1



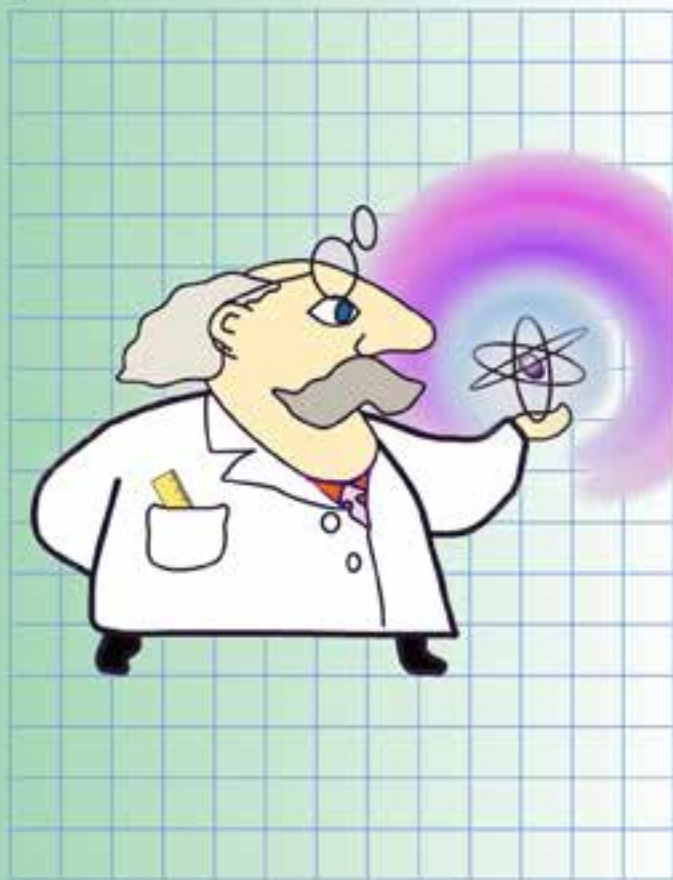
Мал. 4.2.



Мал. 4.3

# Лабораторні роботи

роботи  
лабораторні



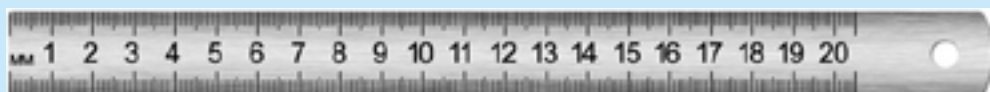
# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## Ознайомлення з вимірювальними приладами. Визначення ціни поділки шкали приладу

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати ціну поділки приладів; виконувати вимірювання; виконувати запис результатів у таблицю.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	лінійка; мензурка; термометр; брусок; склянка з водою.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	виміряти фізичну величину означає порівняти її із величиною, прийнятою за одиницю. У випадку лінійки це 1 см або 1 мм; для мензурки – 1 мл або 1 см <sup>3</sup> ; для термометра – 1°С. Кожен із зазначених вимірювальних приладів має шкалу із поділками. Ціна поділки позначається літерою $C$ (наприклад: $C_{\text{лін}} = 1 \text{ мм}$ , $C_{\text{менз}} = \dots$ , $C_{\text{терм}} = \dots$ ). Позначення внизу біля букви називають індексом. Індекс «лін», наприклад, означає «лінійки», тобто $C_{\text{лін}}$ – ціна поділки лінійки.

### ХІД РОБОТИ

- Схема досліду:** накресліть ділянку шкали приладу, на якому ви визначаєте ціну поділки. Приклад: мал. 3.
- Виберіть на шкалі приладу два різних числових значення. Занесіть в таблицю величину меншого ( $A$ ) та більшого ( $B$ ) значень і їх різницю ( $B - A$ ).  
Порахуйте кількість поділок  $n$  між позначками, що відповідають значенням  $A$  та  $B$  і також занесіть в таблицю. Визначте ціну поділки ( $C$ ) приладу за допомогою формули  $C = \frac{B - A}{n}$  (наприклад, на шкалі термометра:  $A = 20$ ,  $B = 30$ ,  $n = 10$ .  $C_{\text{терм}} = 1^\circ\text{С}$ ).
- Запишіть в таблицю значення одиниці вимірювання кожної фізичної величини, (наприклад: мм, мл, °С).
- Виміряйте довжину бруска.



Мал. 1. Лінійка



Мал. 2. Мензурка



Мал. 3. Термометр

5. Налийте воду в мензурку і визначте об'єм води.
6. Виміряйте температуру води.
7. Запишіть виміряні величини в таблицю (наприклад,  $V = 120 \text{ мл}$ ,  $t^\circ = 23^\circ\text{C}$ ).

Прилад	Фізична величина	A	B	(B-A)	Одиниця вимірювання	n	C	Значення величини
Лінійка	Довжина							$l =$
Мензурка	Об'єм							$V =$
Термометр	Температура							$t^\circ =$

## ВИСНОВОК

Зазначте, які фізичні величини і якими приладами ви навчилися вимірювати. (Наприклад: у цій лабораторній роботі ми навчилися вимірювати температуру води термометром тощо)

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Які межі вимірювання лінійкою (мал. 1)?
2. Який об'єм води налито в мензурку (мал. 2)?
3. Яку температуру показує термометр (мал. 3)?

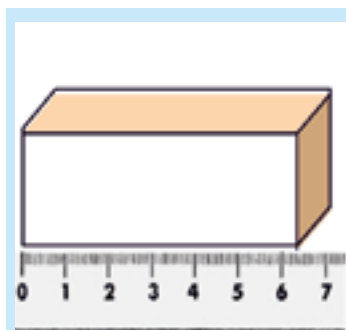
# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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

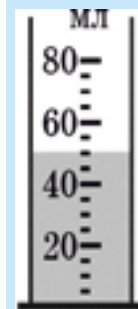
<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати об'єм твердих тіл, рідин і сипких матеріалів; виконувати вимірювання; виконувати запис результатів у таблицю; оцінювати похибку вимірювання; записувати результати вимірювань у стандартному вигляді.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	лінійка; мензурка; склянка з водою; пісок.

### ХІД РОБОТИ

1. **Схема досліду:** накресліть ділянку шкали приладу, на якій ви визначатимете ціну поділки (наприклад: мал. 2).
2. Визначте ціну поділки вимірювальних приладів.
3. Виміряйте довжину, ширину і висоту бруска, обчисліть його об'єм ( $V = a \cdot b \cdot c$ ).
4. Насипте пісок в мензурку і визначте його об'єм.
5. Визначте об'єм води за допомогою мензурки.
6. Запишіть виміряні та обчислені значення об'єму в таблицю.
7. Визначте похибки вимірювання об'єму води і запишіть їх значення в таблицю (абсолютна похибка дорівнює половині ціни поділки шкали приладу).



Мал. 1



Мал. 2

	Прилад	Ціна поділки	Об'єм, см <sup>3</sup>	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %
Брусок	лінійка				
Пісок	мензурка				
Вода	мензурка				

## ВИСНОВКИ

1. Зазначте, які фізичні величини і якими приладами ви навчились вимірювати (наприклад: в цій лабораторній роботі ми навчились вимірювати об'єм ..., за допомогою лінійки ...)
2. Запишіть значення об'єму води в стандартному вигляді (наприклад:  $V = V_{\text{сер}} \pm \Delta V = (90 \pm 5) \text{ см}^3$ ).
3. Перечисліть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Яка довжина бруска, зображеного на мал. 1? Результат запишіть у стандартному вигляді.
2. Який об'єм наливої в мензурку води (мал. 2)? Результат запишіть у стандартному вигляді.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### Вимірювання розмірів малих тіл різними способами

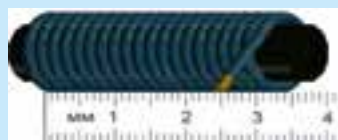
<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися вимірювати розміри тіл методом рядів.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	лінійка ( $C = 1$ мм); пшоно; дріт; мікрофотографія.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<p>Розмір малих тіл можна з великою точністю (0,001 мм) виміряти мікрометром (мал. 1). Проте розміри малих тіл можна виміряти і звичайною лінійкою, якщо цих тіл багато. Це так званий метод рядів.</p> <p>а) Суть цього способу полягає в тому, що деяка кількість однакових за розміром тіл (10–30) складають впритул одне до одного в ряд. Вимірявши лінійкою довжину цього ряду <math>l</math> та поділивши <math>l</math> на кількість тіл <math>n</math>, можна визначити діаметр <math>d</math> одного тіла: <math>d = \frac{l}{n}</math>.</p> <p>б) Діаметр тонкого дроту можна виміряти, намотавши його на циліндричну паличку, ручку або олівець.</p> <p>в) Метод рядів можна застосувати для обчислення розмірів атомів на зображеннях, отриманих за допомогою електронного мікроскопа.</p>

### ХІД РОБОТИ

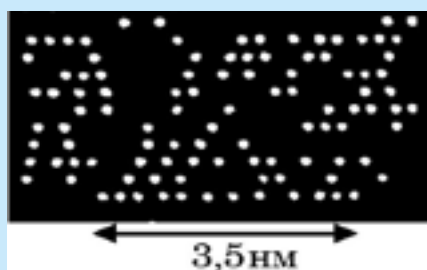
1. Накресліть схему досліду (як на мал. 4).
2. Складіть крупини пшоно в ряд вздовж лінійки (мал. 4) й обчисліть їхній діаметр  $d$ .
3. Подібним чином обчисліть діаметр дроту (мал. 2).
4. На мікрофотографії (мал. 3), отриманій за допомогою скануючого тунельного мікроскопа (СТМ), атоми золота знаходяться на поверхні монокристала графіту в строгому порядку, але не завжди підряд. Ви повинні придумати спосіб якомога точнішого обчислення їхнього діаметра. Масштаб подано в нм – нанометрах (1 нм становить одну мільярдну долю метра).
5. Визначте розміри атомів золота в нанометрах.



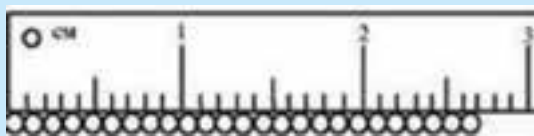
Мал 1. Мікрометр.



Мал 2. Дріт, намотаний на стрижень



Мал 3. Зображення атомів золота: СТМ



Мал 4. Схема дослідів з пшоном

6. Визначте абсолютну похибку вимірювань у кожному досліді і запишіть в таблицю.

	Діаметр, $d$	Одиниця вимірювання	Ціна поділки, $C$	Абсолютна похибка
Пшоно		мм		
Дріт		мм		
Атоми		нм		

## ВИСНОВКИ

1. Поясніть, яку фізичну величину і якими методами ви навчилися вимірювати.
2. Запишіть значення діаметра для усіх вимірювань у стандартному вигляді.
3. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Який діаметр дроту (мал. 2)? Результат запишіть у стандартному вигляді.
2. З якою точністю може вимірювати мікрометр (мал. 1)?
3. Чому атоми золота вишикувалися такими рівними рядами (мал. 2)? Підказка: це стосується будови поверхні кристала графіту.

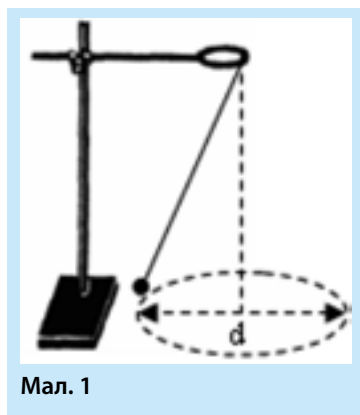
# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

## Визначення періоду обертання та швидкості руху по колу

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати період обертання та лінійну швидкість руху тіла по колу.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	штатив, кулька на нитці, секундомір, циркуль, аркуш паперу формату А4, лінійка.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<p>Період обертання визначають за формулою: <math>T = \frac{t}{N}</math> (1), де <math>t</math> – час, за який тіло зробило <math>N</math> обертів. Лінійну швидкість руху по колу визначають за формулою: <math>v = \frac{\pi d}{T}</math> (2), де <math>d</math> – діаметр кола, <math>T</math> – період обертання.</p>

### ХІД РОБОТИ

1. Накресліть схему дослідів.
2. Підвісьте кульку на нитці до штатива.
3. Накресліть на аркуші паперу коло радіусом  $R = 10$  см і розмістіть центр кола під нерухомою кулькою.
4. Штовхніть кульку так, щоб вона рухалася над лінією кола.
5. Визначте час  $t$ , за який кулька здійснить певну кількість обертів  $N$ .
6. Обчисліть за формулою (1) період обертання кульки  $T$ .
7. Обчисліть за формулою (2) швидкість руху кульки  $v$ .
8. Запишіть результати вимірювань і обчислень в таблицю.



$d$ , см	$t$ , с	$N$	$T$ , с	$v$ , см/с

## ВИСНОВКИ

1. Зазначте, які фізичні величини ви навчилися вимірювати.
2. Запишіть значення періоду обертання кульки (наприклад,  $T = 3,2$  с).
3. Запишіть значення швидкості обертання кульки.
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Який рух називають обертальним?
2. Обчисліть за даними досліду частоту обертання кульки.
- \* 3. У даному досліді кулька, як правило, не описує точне коло. Якою, на вашу думку, була траєкторія кульки насправді?

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

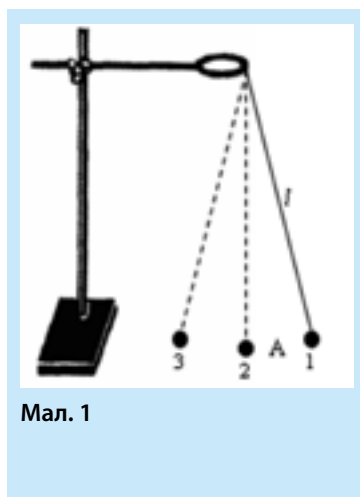
## Дослідження коливань НИТКОВОГО МАЯТНИКА

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати період коливань ниткового маятника; дослідити залежність періоду коливань від амплітуди коливань і маси важка.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	штатив, нитка; дві кульки різної маси; секундомір.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<p>Дослідити залежність між двома величинами означає: з'ясувати, збільшується чи зменшується одна величина при збільшенні чи зменшенні іншої. Якщо зміна однієї величини не призводить до суттєвих змін іншої величини, то залежності між ними немає. Особливо це помітно, коли зміна даної фізичної величини призводить до випадкових і невеликих змін іншої – в більший та менший бік. Зауважимо, що для таких досліджень потрібна велика кількість дослідів.</p> <p>Період коливань визначають за формулою: <math>T = \frac{t}{N}</math> (1), де <math>t</math> – час, за який тіло зробило <math>N</math> повних коливань. Одним коливанням називають рух кульки маятника від точки 1 до точки 3 і назад до точки 1, тобто 1–2–3–2–1. Амплітуда <math>A</math> (мал. 1) – це відстань між точками 1 і 2 (або 2 і 3). Довжина нитки – <math>l</math>, маса кульки – <math>m</math>.</p>

### ХІД РОБОТИ

1. Накресліть схему дослідів.
2. Підвісьте кульку на нитці до штатива.
3. Оберіть таку довжину нитки, щоб відстань від точки підвісу до центру кульки становила 25 см.
4. Відхиліть кульку в положення 1.
5. Відпустіть кульку і визначте час  $t$ , за який кулька здійснить певну кількість коливань  $N$  (нехай  $N = 20$  повних коливань).
6. Обчисліть за формулою (1) період коливань кульки  $T$ .

**Обов'язкова умова:** амплітуда коливань повинна бути значно меншою за довжину



Мал. 1

нитки (приблизно в 10 разів, наприклад: при амплітуді 2 см довжина нитки повинна становити 20 см і більше).

### I. Дослідження залежності періоду коливань кульки даної маси від амплітуди коливань:

1. Визначте період коливань для двох значень амплітуди ( $A_1$  і  $A_2$ ), які відрізняються приблизно в два-три рази.

### II. Дослідження залежності періоду коливань з однаковою амплітудою від маси кульки:

1. Визначте період коливань для двох значень маси кульок ( $m_1$  і  $m_2$ ), які відрізняються приблизно в два-три рази при однаковій амплітуді коливань.
2. Дані дослідів запишіть в єдину для обох дослідів таблицю:

Амплітуда	$t, c$	$N$	$T, c$	Маса кульки	$t, c$	$N$	$T, c$
$A_1 =$				$m_1 =$			
$A_2 =$				$m_2 =$			

## ВИСНОВКИ

1. Зазначте, яку фізичну величину ви навчилися вимірювати.
2. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.
3. Якою виявилася залежність періоду коливань від: **а)** амплітуди коливань при даній масі кульки; **б)** маси кульки при даній амплітуді коливань?

Виберіть один варіант відповіді для кожного дослідження: I - залежить, II - не залежить.

Якщо при збільшенні маси чи амплітуди кульки в два-три рази період змінився незначною мірою, то залежність відсутня. Якщо спостерігається значна зміна періоду при зміні маси чи амплітуди, тоді залежність є, і її потрібно зазначити, (наприклад, збільшення амплітуди коливань втричі веде до збільшення (а можливо, зменшення) періоду в 1,5 разів.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Наскільки, порівняно з періодом коливань, залежить різниця періодів для **а)** двох різних амплітуд; **б)** двох різних мас?
2. Який рух називають коливальним?
3. Обчисліть за даними одного з дослідів частоту коливань кульки  $\nu = \frac{1}{T}$ .
- \* 4. Дослідіть залежність періоду коливань від довжини нитки. Виконайте два досліди, в яких довжина нитки відрізняється в 4 рази. Наприклад, використайте як перший дослід результат, отриманий при довжині нитки 25 см, а другий раз – при  $l = 100$  см. Зробіть висновки. Нагадаємо, що довжину нитки вимірюють від точки підвісу до центру кульки.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### Вимірювання маси тіл методом зважування

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати масу тіл за допомогою важільних терезів.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	терези важільні; важки; тіла для зважування (монети, гумка, олівець тощо).
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.</b>	<p><b>а)</b> Щоб зважити тіло, потрібно порівняти масу тіла з еталоном. Роль еталону відіграють важки, які знаходяться в спеціальній коробці (мал. 4).</p> <p><b>б)</b> Перед зважуванням потрібно переконатися, що стрілка терезів вказує на нуль (мал. 3). Якщо це не так, потрібно встановити рівновагу за допомогою спеціальних гвинтів (мал. 2, угорі ліворуч і праворуч) або навантажувати легшу шальку шматками паперу до встановлення рівноваги.</p> <p><b>в)</b> Рівноплечні терези врівноважені, якщо маса тіла на одній шальці дорівнює масі важків на іншій шальці.</p> <p><b>г)</b> Абсолютна похибка зважування дорівнює половині маси найменшого важка. Маленькі важки слід брати пінцетом.</p>

### ХІД РОБОТИ

Схема досліду (як на мал. 1).

1. Роздівіть важки від найбільшого до найменшого.
2. Запишіть значення абсолютної похибки зважування в таблицю (наприклад, нехай маса найменшого важка 1 г. Тоді  $\Delta m = 0,5$  г).
3. Врівноважте терези.
4. Покладіть зважуване тіло на одну шальку терезів (права шалька на мал. 1).
5. Навантажуйте важками іншу шальку до встановлення рівноваги (стрілка приладу вказує на нуль).
6. Визначте загальну масу важків – це і є маса тіла.



Мал. 1



Мал. 2. Терези і важки



Мал. 3. Монети ще не врівноважені



Мал. 4. Набір важків і тіла для зважування

7. Запишіть масу тіла в таблицю разом зі значеннями абсолютної і відносної похибок зважування.

	Маса, $g$	Абсолютна похибка, $\Delta m, g$	Відносна похибка, $\varepsilon, \%$
Тіло 1			
Тіло 2			
Тіло 3			

## ВИСНОВКИ

1. Зазначте, яку фізичну величину і яким приладом ви навчилися вимірювати.
2. Запишіть значення маси кожного тіла (чи набору тіл) у стандартному вигляді (наприклад,  $m = 25,3 \pm 0,5 g$ ).
3. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Якою була найбільша і найменша маса важків?
2. Яку найбільшу масу можна було визначити на терезах?
- \* 3. Чому на терезах не можна визначити масу дуже легкого тіла, наприклад, піщинки?

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

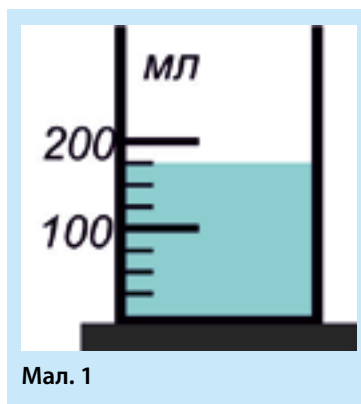
## Визначення густини речовини (твердих тіл і рідин)

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати густину твердих та рідин.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	терези важільні; різноваги; мірний циліндр; тверде тіло – металевий циліндр; склянка з водою; склянка з підсоленою водою.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Абсолютна похибка зважування <math>\Delta m</math> дорівнює половині маси найменшого важка.</li> <li>2. Відносна похибка визначення маси: <math>\varepsilon(m) = \frac{\Delta m}{m}</math>.</li> <li>3. При відніманні чи додаванні виміряних величин їх абсолютні похибки додаються. Отже, абсолютна похибка визначення об'єму твердого тіла <math>\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2</math>.</li> <li>4. Відносна похибка визначення об'єму твердого тіла: <math>\varepsilon = \frac{\Delta V}{V}</math>. Густина тіла: <math>\rho = \frac{m}{V}</math>.</li> <li>5. Відносна похибка при діленні чи множенні дорівнює сумі відносних похибок виміряних величин: <math>\varepsilon(\rho) = \varepsilon(m) + \varepsilon(V)</math>.</li> <li>6. Абсолютна похибка при непрямих вимірюваннях дорівнює добутку відносної похибки на значення обчисленої величини. У цій роботі: <math>\Delta \rho = \varepsilon(\rho) \cdot \rho</math>.</li> </ol>

### ХІД РОБОТИ

#### I. Визначення густини речовини твердого тіла.

1. Схема досліду (як на мал. 1).
2. Визначте на терезах масу металевого циліндра.
3. Запишіть масу тіла в таблицю разом зі значенням абсолютної та відносної похибки зважування.
4. Налийте в мірну склянку води і запишіть в таблицю початкове значення об'єму  $V_1$ .
5. Помістіть металевий циліндр у мірну склянку і запишіть нове значення об'єму  $V_2$ .
6. Визначте об'єм тіла  $V = V_2 - V_1$  і запишіть значення в таблицю.



Мал. 1

7. Запишіть значення абсолютної і відносної похибки визначення об'єму в таблицю.
8. Обчисліть значення густини речовини твердого тіла і запишіть в таблицю.
9. Обчисліть відносну і абсолютну похибку визначення густини і запишіть значення в таблицю.

## II. Визначення густини рідини.

1. Зважте суху порожню мірну склянку ( $m_1$ ).
2. Налийте в мірну склянку підсолону воду та визначте її об'єм.
3. Зважте мірну склянку разом з рідиною ( $m_2$ ).
4. Обчисліть масу рідини:  $m = m_2 - m_1$ .
5. Обчисліть густину рідини.
6. Запишіть дані вимірювань і обчислень у таблицю.

	$m, \text{г}$	$V, \text{см}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$	$\rho, \text{кг/см}^3$
Тверде тіло				
Рідина				

### Похибки

	$\Delta m, \text{г}$	$\varepsilon(m)$	$\frac{\Delta V}{\text{г/см}^3}$	$\varepsilon(V)$	$\varepsilon(\rho)$	$\frac{\Delta(\rho)}{\text{г/см}^3}$	$\varepsilon(\rho), \%$
Тверде тіло							
Рідина							

## ВИСНОВКИ

1. Зазначте, яку фізичну величину ви навчилися визначати.
2. Запишіть значення густини твердого тіла і рідини у стандартному вигляді, наприклад,  $\rho = (6,2 \pm 0,8) \text{ г/см}^3$ .
3. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Що називають густиною речовини?
2. Чому густина підсоленої води більша за густину чистої води?
3. Який об'єм води в мірній склянці (мал. 1)? Запишіть результат у стандартному вигляді.

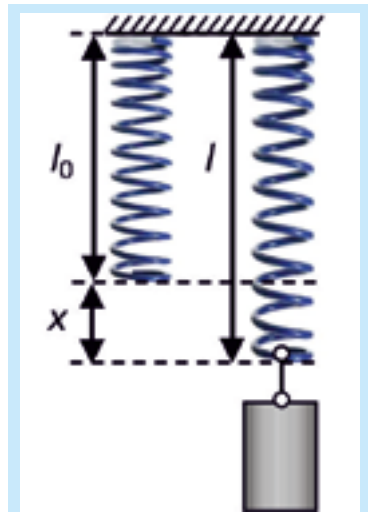
# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

## Дослідження пружних властивостей тіл

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати жорсткість пружини.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	пружина; важки відомої маси; лінійка; штатив.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Жорсткість пружини визначається як <math>k = \frac{F}{x}</math>.</li> <li>2. Сила, з якою важок діє на пружину <math>F = mg</math>, де <math>m</math> – маса важка, <math>x = l - l_0</math> – видовження пружини.</li> <li>3. Абсолютна похибка видовження: <math>\Delta x = \Delta l + \Delta l_0</math>.</li> <li>4. Відносна похибка обчислення жорсткості:  <math display="block">\varepsilon(k) = \varepsilon(F) + \varepsilon(x).</math> </li> <li>5. Абсолютна похибка жорсткості: <math>\Delta k = \varepsilon(k) \cdot k</math>.</li> <li>6. <math>k_{cp} = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}</math></li> </ol>

### ХІД РОБОТИ

1. Схема досліду (як на мал. 1).
2. Визначте початкову і кінцеву довжину пружини, підвішуючи до пружини один, два і три важки. Обчисліть видовження пружини в кожному випадку.
3. Визначте значення сили  $F$  в кожному випадку.
4. Обчисліть значення жорсткості пружини  $k$  для трьох дослідів.
5. Запишіть дані вимірювань і обчислень у таблицю.



Мал. 1.

Дослід:	$l_0$ , см	$l$ , см	$x$ , см	$F$ , Н	$k$ , Н/см	$k_{cp}$ , Н/см	$k_{cp}$ , Н/м
1.							
2.							
3.							

Дослід	$\Delta x$ , см	$\varepsilon (x)$	$\Delta F$ , Н/см	$\varepsilon (F)$	$\varepsilon (k)$	$\frac{\Delta(k)}{H/\text{см}}$	$\varepsilon (k)$ , %
1.							
2.							
3.							

## ВИСНОВОК

1. зазначте, яку фізичну величину ви навчилися визначати.
2. Запишіть значення жорсткості пружини в стандартному вигляді, наприклад,  $k = [2,52 \pm 0,04] \text{ Н/см}$ .
3. Порівняйте значення жорсткості пружини, визначені в кожному досліді, зробіть висновок.
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Що називають жорсткістю пружини?
2. Яку деформацію називають пружною?
3. Який вид деформації ви досліджували у цій лабораторній роботі?

# Визначення коефіцієнта тертя ковзання

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	навчитися визначати коефіцієнт тертя ковзання.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	динамометр; важки відомої маси; дерев'яна дощечка; дерев'яний брусок.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<p>1. Коефіцієнт тертя визначається як <math>\mu = \frac{F_{mp}}{N}</math>. Сила реакції опори в цьому досліді дорівнює вазі важка разом з бруском <math>N = P_{бр} + P_{тяг}</math>.</p> <p>2. Відносна похибка обчислення коефіцієнта тертя ковзання: <math>\varepsilon(\mu) = \varepsilon(F_{mp}) + \varepsilon(N)</math>.</p> <p>3. Абсолютна похибка коефіцієнта тертя ковзання: <math>\Delta\mu = \varepsilon(\mu) \cdot \mu</math>.</p> <p>4. При рівномірному русі бруска сила, яку показує динамометр дорівнює силі тертя ковзання: <math>F_{тр} = F</math>.</p>

## ХІД РОБОТИ

1. Схема досліду (як на мал. 1 та 2).
2. Рівномірно тягніть навантажений одним, двома і трьома важками брусок за допомогою динамометра.
3. Визначте значення сили  $F$ , яку показує динамометр в кожному випадку.
4. Визначте значення  $N$  як суми ваги бруска і ваги важків для кожного з трьох дослідів.
5. Обчисліть значення коефіцієнта тертя ковзання в кожному досліді.
6. Запишіть дані вимірювань і обчислень в таблицю.

**Додаткове завдання.** Визначте коефіцієнт тертя ковзання в третьому досліді, рухаючи брусок на грані меншої площі, і запишіть це значення в таблицю як  $\mu_1$ .



Мал. 1



Мал. 2.

Дослід	$F$ , Н	$N$ , Н	$\mu$	$\mu_{cp}$	$\mu_1$
1.					
2.					
3.					

Дослід	$\Delta F_{\text{мр}}, \text{с.м.}$	$\varepsilon (F_{\text{мр}})$	$\Delta(N), \text{Н}$	$\varepsilon (\mu)$	$\Delta (\mu)$	$\varepsilon (\mu), \%$
1.						
2.						
3.						

## ВИСНОВКИ

1. зазначте, яку фізичну величину ви навчилися визначати.
2. Запишіть значення коефіцієнта тертя ковзання в стандартному вигляді, наприклад,  $\mu = 0,34 \pm 0,25$ .
3. Порівняйте значення коефіцієнта тертя ковзання, визначені в кожному досліді, та зробіть висновок.
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

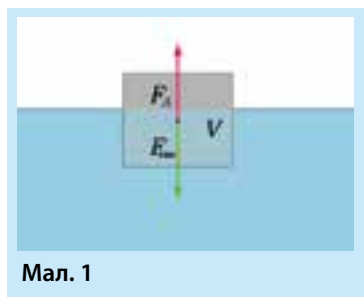
1. Що називають коефіцієнтом тертя ковзання?
2. Як залежить коефіцієнт тертя ковзання від площі дотику поверхонь?
3. Чому при русі бруска стрілка динамометра на початку руху «смикається»?

## З'ясування умов плавання тіла

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	дослідити умови плавання тіла.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	мірна склянка; склянка з водою; лінійка; штатив; пісок, пластилін чи монети; фільтрувальний папір; прозора пластикова коробочка з пробкою і гачком; динамометр.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<p>1. Якщо густина тіла менша за густину рідини, то тіло в цій рідині плаває.</p> <p>2. Осадка плаваючого засобу (глибина занурення) тим більша, чим більша його густина порівняно з густиною рідини.</p> <p>3. Визначивши вагу тіла <math>P</math> на динамометрі, можна обчислити масу тіла: <math>m = \frac{P}{g}</math>, <math>g = 9,8 \text{ Н/кг}</math>. Сила тяжіння <math>F_{\text{тяж}}'</math> що діє на коробочку, дорівнює її вазі <math>P</math>.</p>

### ХІД РОБОТИ

1. Схема досліду (як на мал. 1).
2. Налийте в мірну склянку воду і запишіть значення об'єму  $V_1$ .
3. Навантажте коробочку так, щоб вона плавала, занурившись у воду приблизно на 1/3 свого об'єму.
4. Запишіть значення об'єму  $V_2$  у мірній склянці після занурення коробочки.
5. Обчисліть значення об'єму витісненої води  $V = V_2 - V_1$ .
6. Занурте коробочку повністю у воду і визначте її об'єм  $V_K$ .
7. Обчисліть значення виштовхувальної сили  $F_A = \rho_B \cdot g \cdot V$ , де  $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$  – густина води. Для підрахунків об'єм витісненої води  $V$  потрібно виразити в кг.
8. Вийміть коробочку з води, промокніть її фільтрувальним папером і зважте на динамометрі, визначивши її вагу  $P$ .
8. Обчисліть масу коробочки за формулою  $m_K = P/g$  в кг і переведіть в г.
9. Обчисліть густину коробочки за формулою  $\rho_K = \frac{m_K}{V_K}$ .
10. Проведіть ще два досліди: **а)** коли коробочка плаває, занурившись приблизно на 2/3 свого об'єму та **б)** коли коробочка плаває, практично повністю занурившись у воду.



11. Помістіть металевий циліндр у мірну склянку і запишіть нове значення об'єму  $V_2$ .

12. Запишіть дані вимірювань і обчислень в таблицю.

Дослід:	$V_1, \text{см}^3$	$V_2, \text{см}^3$	$V, \text{см}^3$	$V_K, \text{см}^3$	$\rho_B, \text{г/см}^3$	$\rho_K, \text{г/см}^3$	$F_A, \text{Н}$	$P, \text{Н}$
1.					1000			
2.					1000			
3.					1000			

## ВИСНОВКИ

1. Порівняйте густину коробочки з густиною води в кожному з трьох дослідів і зробіть висновок.
2. Порівняйте вагу тіла з силою Архімеда в кожному з трьох дослідів і зробіть висновок.
3. Якою була абсолютна похибка визначення сили динамометром?
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Як у цій лабораторній роботі можна було б визначити густину невідомої рідини?
2. Чи може тіло плавати в рідині, об'єм якої менший за об'єм тіла? (парадокс Архімеда).

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

## Вивчення умови рівноваги важеля

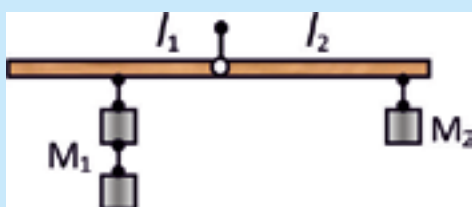
<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	дослідити умови рівноваги важеля для трьох різних випадків.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	штатив; осьовий стержень; важки з гачками; важіль лабораторний; лінійка.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Важіль не обертається, якщо сума моментів, що обертають за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів, які обертають проти годинникової стрілки (мал. 1).</li> <li>Моментом сили називають добуток сили на плече: <math>M = F \cdot l</math>.</li> <li>Плечем називають найкоротшу відстань від осі обертання «О» до лінії дії сили.</li> </ol>

### ХІД РОБОТИ

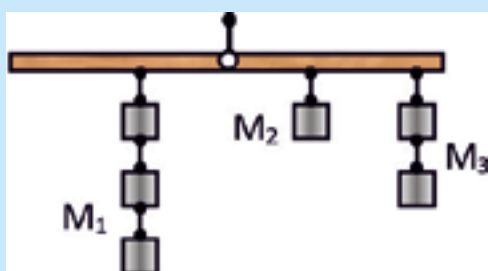
1. Схема досліду (як на мал. 2 і 3).
2. Врівноважте важіль, як це вказано на мал. 2.
3. Виміряйте плечі  $l_1$  та  $l_2$ . Нехай вага одного важка –  $P$ . Тоді  $M_1 = 2P \cdot l_1$ ,  $M_2 = P \cdot l_2$ . Вага усіх важків однакова:  $P = 0,5 \text{ Н}$ .
4. Врівноважте важіль, як це вказано на мал. 3.



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

5. Виміряйте плечі  $l_1$ ,  $l_2$  та  $l_3$ . Тоді  $M_1 = 3P \cdot l_1$ ,  $M_2 = P \cdot l_2$ ,  $M_3 = 2P \cdot l_3$ .
6. Врівноважте важіль на власний розсуд, але щоб число моментів дорівнювало чотирьом.
7. Суму моментів, які обертають проти годинникової стрілки, позначимо  $M_{\text{пр}}$ , а суму моментів, які обертають за годинниковою стрілкою, позначимо  $M_{\text{за}}$ .
8. Запишіть дані вимірювань і обчислень в таблицю.

Дослід:	$M_{np}, Н \cdot см$	$M_{за}, Н \cdot см$	$ M_{np} - M_{за} , Н \cdot см$
1.			
2.			
3.			

## ВИСНОВКИ

1. У чому ви переконалися, виконавши цю лабораторну роботу?
2. Визначте відносну похибку в другому досліді. Самостійно придумайте спосіб розрахунку.
3. Запишіть умову обертання важеля за годинниковою стрілкою в першому досліді.
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Яким буде момент сили 10 Н, якщо плече цієї сили дорівнює 0,2 м?
2. Як діють сили з боку рук велосипедиста на руль, коли він повертає праворуч? Поясніть розв'язок малюнком.

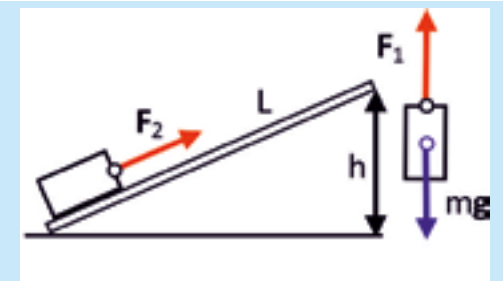
# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

## Визначення ККД похилої площини

<b>МЕТА РОБОТИ:</b>	визначити ККД похилої площини і дослідити, від чого він залежить.
<b>ПРИЛАДИ І МАТЕРІАЛИ:</b>	дерев'яна дощечка; лінійка; штатив; дерев'яний брусок; динамометр.
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.</b>	<p>1. <math>ККД = \frac{A_{кор.}}{A_{затр.}} \cdot 100\%</math> .</p> <p>2. Корисна робота полягатиме в підйомі бруска на висоту <math>h</math> (мал. 1). Отже, <math>A_{кор.} = mgh = F_1 \cdot h</math>.</p> <p>3. Затрачена робота виконується при русі бруска по похилій площині: <math>A_{затр.} = F_2 \cdot L</math>.</p> <p>4. Таким чином <math>ККД = \frac{F_1 \cdot h}{F_2 \cdot L} 100\%</math></p>

### ХІД РОБОТИ

1. Схема досліду (як на мал. 1).
2. Визначте за допомогою динамометра вагу бруска  $F_1$ .
3. Причепіть гачок динамометра до бруска і тягніть його рівномірно вгору по похилій площині. Визначте силу  $F_2$ .
4. Виміряйте лінійкою довжину дощечки  $L$ .
5. Проведіть дослід для трьох різних значень  $h$ , наприклад, 10 см, 15 см і 25 см.
6. Обчисліть корисну і затрачену роботу.
7. Запишіть дані вимірювань і обчислень в таблицю.



Мал. 1

Дослід:	$L, \text{ см}$	$F_1, \text{ Н}$	$h, \text{ см}$	$F_2, \text{ Н}$	$A_{кор.}$	$A_{затр.}$	ККД, %
1.							
2.							
3.							

## ВИСНОВКИ

1. Яку фізичну величину ви навчилися визначати в цій лабораторній роботі?
2. Чи існує залежність  $K\kappa D$  похилої площини від висоти  $h$ ?
3. Визначте абсолютну і відносну похибку при визначенні  $K\kappa D$  в другому досліді.
4. Назвіть основні чинники, які вплинули на точність вимірювань.

## ДАЙТЕ ВІДПОВІДІ НА ЗАПИТАННЯ:

1. Чи впливає опір повітря на точність визначення  $K\kappa D$  у цій роботі?
2. Чому потрібно піднімати і тягнути брусок по площині рівномірно?

## СЛОВНИК ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ

**Абсолютний** – повний, досконалий

**Авіаносець** – корабель, на якому розміщені літаки

**Акваланг** – пристрій для підводного плавання

**Акселератор** – прискорювач

**Акселерометр** – прилад для вимірювання прискорень (перевантажень) у транспортних машинах, літальних апаратах тощо.

**Амплітуда коливань** – найбільше відхилення (зміщення) від рівноваги

**Артеріальний тиск** – тиск крові в кровоносній системі людини

**Атом** – найменша складова частина речовини

**Баланс** – рівновага, узгодженість частин.

**Барометр** – прилад для вимірювання атмосферного тиску

**Батискаф** – пристрій для глибоководного занурення

**Безрозмірна величина** – величина, яка не має одиниць вимірювання

**Бобслей** – різновид санного спорту

**Вакуум** – стан газу за дуже низького тиску, пустота

**Важіль** – стрижень, за допомогою якого можна отримати виграш у силі чи швидкості

**Ват (Вт)** – одиниця вимірювання потужності

**Ватерлінія** – лінія дотику води з корпусом корабля

**Взаємодія** – дія тіл одне на одне

**Вектор** – направлений відрізок (зі стрілкою)

**Вертикаль** – прямовисна лінія, лінія, що напрямлена до центру землі

**Водень** – перший елемент (Гідроген) у таблиці Менделєєва, найлегший із газів

**Волоконні лінії** – кабелі, що зроблені з скляних волокон і передають інформацію за допомогою світла

**Всесвіт** – увесь існуючий світ, що нас оточує

**Гальмівна колодка** – пластина з певного матеріалу, що притискається до гальмівного диску колеса автомобіля, коли водій гальмує

**Гальмівний диск** – диск на автомобільному колесі, до якого притискається гальмівна колодка при гальмуванні

**Галактика** – зоряне скупчення, що складається з сотень мільйонів зірок, які тримаються разом силами тяжіння

**Галілей** (*Галілео Галілей* – *Galileo Galilei*) – італійський фізик

**Гелій** –другий елемент таблиці Менделєєва, легкий газ

**Геріке** (*Отто фон Геріке* – *Guericke, Otto von*) – німецький фізик

**Герметичний** – такий, що не пропускає повітря чи воду

**Гідравлічний прес** – пристрій для створення великої сили тиску

**Гідростатичний тиск** – тиск нерухомої рідини

**Гравітація** – тяжіння

**Графік** – малюнок, що зображає взаємозв'язок двох змінних величин

**Гюйгенс (Крістіан Гюйгенс – Huygens Christiaan)** – голландський фізик

**Далекомір** – прилад для вимірювання відстані

**Дзиґа** – дитяча іграшка, яка не перекидається при швидкому обертанні

**Декарт** (*Рене Декарт* – *Descartes, Rene*) – французький фізик

**Деформація** – зміна розміру та форми тіла

**Динамік** – пристрій для відтворення і підсилення звуку

**Динамометр** – прилад, що вимірює силу

**Дирижабль** – літальний апарат з твердою оболонкою, наповненою легким газом

**Доба** – час, за який планета робить повний оберт навколо своєї осі (для Землі це 24 години)

**Довгота** – координата, що її вимірюють у градусах дуги вздовж паралелі відносно нульового (Гринвіцького) меридіану

**Дюйм** – 1/12 фута, приблизно 2,5см

**Жорсткість** – назва коефіцієнту у формулі закону Гука

**Затяжний стрибок** – стрибок, при якому парашутист певний час не відкриває парашут

**Зірки** – подібні до Сонця кулі, що складаються з розжарених газів (переважно з водню та гелію)

**Зміщення** – відхилення від положення рівноваги

**Експеримент** – проба, дослід, в якому перевіряють попередньо зроблені припущення

**Еліпс** – плоска, замкнута, випукла двофокусна крива лінія.

**Електрон** – заряджена негативно частинка, що входить до складу електронної оболонки атома

**Електризація** – процес надання тілу електричного заряду (наприклад, за допомогою тертя)

**Електромагнітні хвилі** – світло, рентгенівські та гамма-промені, радіохвилі

**Електронний мікроскоп** – мікроскоп, що використовує для збільшення зображення не світло, а електрони

**Ефект** – результат, наслідок, фізичне явище

**Еталон** – зразок, міра, стандарт одиниці вимірювання

**Інтенсивний** – сильний, значний

**Інформація** – певні дані, відомості

**Інфразвук** – звук, частота якого менша за 16Гц

**Карбон** – елемент № 12 таблиці Менделєєва; вугілля, графіт та алмаз складаються з атомів Карбону

**Квантова механіка** – механіка руху атомів та атомних частинок (електрони, протони тощо)

**Кварки** – частинки, з яких складаються протони і нейтрони

**Кіловат** – одиниця вимірювання потужності

**Клапан** – пристрій, що регулює пропускання газу чи рідини в насосах та інших приладах (сердечні клапани)

**Коефіцієнт пропорційності** – множник, що входить до складу формул

**Коефіцієнт тертя** – коефіцієнт пропорційності у формулі для розрахунку тертя ковзання

**Компактно** – коротко, стисло

**Компресор** – пристрій для нагнітання повітря

**Комунікація** – зв'язок, лінія для передачі інформації

**Космос** – позаземний простір

**Крейсер** – бойовий військовий корабель

**Лабораторія** – приміщення, в якому проводяться наукові експерименти

**Літр** – один кубічний дециметр

**Логіка** – певний строгий спосіб міркування

**Луна** – відбитий перешкодою звук

**Маса** – вимірюється за допомогою важільних терезів. Одиниця вимірювання – кг

**Максимум** – найбільше значення

**Манометр** – прилад, що вимірює тиски, які значно відрізняються від атмосферного

**Масштаб** – відрізок, одиниця вимірювання на малюнку, графіку, карті

**Матерія** – те, з чого все складається

**Матеріальна точка** – об'єкт, що має масу, але не має розмірів

**Мембрана** – гнучка плівка

**Менделєєв (Дмитро Іванович Менделєєв)** – російський хімік

**Мензурка** – прилад для визначення об'єму рідких та сипучих речовин

**Метеостанція** – метеорологічна станція, стежить за станом погоди

**Метрологічна лабораторія** – місце, де зберігають еталони одиниць вимірювання і встановлюють єдині стандарти вимірювань

**Механічний рух** – переміщення тіла в просторі з перебігом часу

**Мікрограм** – мільйонна частина грама

**Мікрометр** – мільйонна частина метра

**Мілілітр** – тисячна частина літра

**Міліметр** – тисячна частина метра

**Мінімум** – найменше значення

**Модель** – змінена (спрощена) копія реального пристрою чи явища

**Молекула** – найменша частинка речовини

**Монгольф'є** (*брати Етьєн і Жан Монгольф'є*) – винахідники повітряної кулі

**Монгольф'єр** – повітряна куля, наповнена гарячим повітрям

**Надпровідність** – стан, коли струм тече через провідник без опору

**Нейтрон** – нейтральна (така, що не має електричного заряду) частинка, що міститься в ядрі атома

**Нерівномірний рух** – рух зі змінною швидкістю

**Нобелівська премія** – висока міжнародна винагорода, започаткована Альфредом Нобелем. Присуджується щорічно, починаючи з 1901 року

**Нормальний тиск** – 760 мм рт. ст

**Ньютон Ісаак** (Isaac Newton) – видатний англійський вчений

**Ньютон** – одиниця вимірювання сили

**Об'єкт** – предмет, тіло

**Одиниці вимірювання** – фізичні величини, яким присвоєні значення, що дорівнюють одиниці: 1м, 1с, 1 кг тощо

**Озон** – газ, молекули якого складаються з трьох атомів кисню, має запах

**Орбіта** – траєкторія, яку описує планета

**Об'єм** – число, яке виражає величину області простору, що її займає тіло

**Парадокс** – твердження, яке здається неправильним чи неможливим

**Паскаль** (*Блез Паскаль* – *Pascal, Blaise*) – французький фізик

**Паскаль** ( $1\text{Па}=1\text{ Н/м}^2$ ) – одиниця вимірювання тиску

**Період коливаль** – час, протягом якого здійснюється одне повне коливання

**Період обертання** – час одного оберту

**Потужність** – робота за одиницю часу, швидкість виконання роботи

**Принцип** – основне положення вчення чи теорії

**Прискорення** – зміна швидкості за одиницю часу, швидкість зміни швидкості

**Протон** – частинка, яка входить до складу атомного ядра, має позитивний електричний заряд, що за величиною дорівнює заряду електрона

**Процедура** – певний порядок дій

**Процес** – певний перебіг подій

**Радіотелескоп** – антена (схожа на чашу) і чутливий приймач радіохвиль, застосовують для прийому радіосигналів з космосу

**Реакція** – зворотна дія

**Резервуар** – вмістилище для зберігання рідини чи газу

**Ресурс** – запас, джерело

**Рівновага** – стан, в якому тіло не рухається

**Рівномірний рух** – рух із постійною швидкістю

**CI (Sisteme International)** – міжнародна система одиниць вимірювання

**Синхронно** – разом, одночасно

**Сифон** – пристрій для переливання рідини

**Світловий рік** – відстань, що її проходить світло за один рік

**Сила** – фізична величина, що виражає дію на дане тіло інших тіл, результатом якої є прискорення і деформація

**Сполучені посудини** – посудини, з'єднані так, що рідина може перетікати між ними

**Стандарт** – норма, еталон

**Стратостат** – велика повітряна куля, що підіймається в стратосферу

**Стратосфера** – дуже високі шари атмосфери

**Таблиця** – спосіб запису даних, список

**Танкер** – корабель, що перевозить в основному нафту

**Телекомунікація** – обмін інформацією на відстані (телефон, радіо, телебачення і т. д.)

**Телескоп** – оптичний прилад для спостереження за зірками

**Терези** – прилад для вимірювання маси

**Тертя** – явище взаємодії поверхонь двох тіл при русі чи спробі руху

**Термоядерні реакції** – реакції утворення важких атомних ядер з ядер легких елементів. Відбуваються в надрах зірок при температурах у сотні мільйонів градусів

**Тіло відліку** – тіло, відносно якого ми відзначаємо свій рух

**Тиск** – виражає величину сили тиску на одиницю площі поверхні

**Тонна** – 1 000 кг

**Тоннажність** – маса води, що її витісняє плаваючий корабель

**Траєкторія** – лінія, що її описує матеріальна точка в своєму русі

**Формула** – стислий математичний запис фізичного закону

**Фундаментальний** – основний, в основі всього

**Хронометр** – дуже точний годинник

**Циліндр** – геометрична фігура

**Циклоїда** – складна крива, що її описує точка обода колеса, яке котиться

**Час** – міра швидкості перебігу подій та зміни явищ

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

**Частота обертання** – кількість обертів за одиницю часу

**Число  $\pi$  (пі)** –  $\pi \approx 3.14$

**Чорна діра** – зірка, яка стиснулася під дією сил тяжіння настільки, що світло не може її покинути

**Швидкість** – відстань, яку тіло проходить за одиницю часу

**Шлях** – відстань, виміряна вздовж траєкторії

**Явище** – певна подія, процес прояву чи зміни чогось

**Ядерні сили** – сили, що діють між протонами і нейтронами

## **ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ (ЛАБОРАТОРІЇ) ФІЗИКИ**

### **I. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

- 1.1. Інструкція з техніки безпеки для кабінету (лабораторії) фізики навчального закладу поширюється на всіх учасників навчально-виховного процесу під час проведення занять з фізики (демонстраційних дослідів, лабораторних і практичних робіт).
- 1.2. Під час проведення навчально-виховного процесу у кабінетах (лабораторіях) фізики загальноосвітніх навчальних закладів учні проходять інструктаж з безпеки праці та навчання, надання першої (долікарської) допомоги при характерних пошкодженнях, який проводиться учителем фізики перед початком занять у кабінеті фізики і реєструється в журналі.



### **II. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ**

- 2.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення дослідів.
- 2.2. Звільніть робоче місце від усіх непотрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 2.3. Перевірте наявність і надійність приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдання.
- 2.4. Розташовуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

### **III. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

- 3.1. Починайте виконувати завдання тільки з дозволу вчителя.
- 3.2. Виконуйте лише ту роботу, що передбачена завданням або доручена вчителем.
- 3.3. Не допускайте різких змін температури і механічних ударів при роботі зі скляними виробами.
- 3.4. Опускайте тверді тіла в мензурку на міцній нитці, щоб не розбити мензурку.
- 3.5. Поводьтеся з важелем так, щоб він не обертався навколо осі і не вдарив вас.
- 3.6. Не торкайтесь до затискачів стаціонарних джерел електричного живлення.
- 3.7. Не залишайте робочого місця без дозволу вчителя.

### **IV. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ**

- 4.1. Приберіть на своєму робочому місці з дозволу вчителя.
- 4.2. Складіть обладнання так, як воно було складене до початку роботи.
- 4.3. За потреби витріть стіл чистою ганчіркою.

### **V. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЯХ**

- 5.1. У разі поранення, опіків або поганого самопочуття тощо, повідомте вчителя.
- 5.2. У разі виникнення непередбачуваного загоряння чи пожежі негайно повідомте вчителю.
- 5.3. У випадку нестандартної ситуації починайте ліквідацію осередку вогню підручними засобами або вогнегасником, який є у кожному фізичному кабінеті.

## КАБІНЕТ ФІЗИКИ

### 1. Кабінет обладнано:

- 1.1 Лабораторними столами і стільцями;
- 1.2 Демонстраційним столом;
- 1.3 Шафами для збереження навчального обладнання для лабораторних та практичних робіт.



2. Кабінет оснащено медичною аптечкою з набором перев'язочних засобів і медикаментів відповідно до вимог інструкцій з техніки безпеки охорони праці для учнів.
3. Кабінет фізики відноситься до групи приміщень з підвищеною безпекою.
  - 3.1 Заборонено подавати на робочі столи учнів напругу більше 42 В змінного та 110 постійного струму;
  - 3.2 Електрообладнання кабінету з напругою живлення більше 42 В змінного та 110 постійного струму заземлюють.
4. З метою забезпечення пожежної безпеки кабінети фізики комплектуються протипожежним інвентарем:
  - 4.1 Ящиком з піском, щільною мішковиною;
  - 4.2 Вогнегасником.
5. Перебування учнів у кабінеті фізики дозволяється лише за присутності вчителя.

## ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ

Період	Ряд	Г Р					
		I	II	III	IV	V	
1	1	<b>H</b> Гідроген Водень 1,0079					
2	2	<b>Li</b> Літій 6,941	<b>Be</b> Берилій 9,012	<b>B</b> Бор 10,81	<b>C</b> Карбон Вуглець 12,011	<b>N</b> Нітроген Азот 14,0067	<b>O</b> Оксиген Кисень 15,9994
3	3	<b>Na</b> Натрій 22,990	<b>Mg</b> Магній 24,305	<b>Al</b> Алюміній 26,981	<b>Si</b> Силіцій Кремній 28,086	<b>P</b> Фосфор 30,973	<b>S</b> Сульфур Сірка 32,06
4	4	<b>K</b> Калій 39,098	<b>Ca</b> Кальцій 40,08	21 44,956 <b>Sc</b> Скандій	22 47,90 <b>Ti</b> Титан	23 50,941 <b>V</b> Ванадій	24 51,996 <b>Cr</b> Хромен Кремній
	5	29 63,546 <b>Cu</b> Купрум Мідь	30 65,39 <b>Zn</b> Цинк	<b>Ga</b> Галій 69,72	31 69,72 <b>Ge</b> Германій	32 72,59 <b>As</b> Арсен Миш'як	33 74,921 <b>Se</b> Селен
5	6	<b>Rb</b> Рубідій 85,468	<b>Sr</b> Стронцій 87,62	39 88,906 <b>Y</b> Ітрій	40 91,22 <b>Zr</b> Цирконій	41 92,906 <b>Nb</b> Ніобій	42 95,94 <b>Mo</b> Молибден
	7	47 107,868 <b>Ag</b> Аргентум Срібло	48 112,41 <b>Cd</b> Кадмій	49 114,82 <b>In</b> Індій	50 118,71 <b>Sn</b> Станум Олово, цина	51 121,75 <b>Sb</b> Стибій	52 127,6 <b>Te</b> Телури
6	8	<b>Cs</b> Цезій 132,91	<b>Ba</b> Барій 137,33	57 138,905 <b>*La</b> Лантан	72 178,49 <b>Hf</b> Гафній	73 180,948 <b>Ta</b> Тантал	74 183,84 <b>W</b> Вольфрам
	9	79 196,967 <b>Au</b> Аурум Золото	80 200,59 <b>Hg</b> Меркурій Ртуть	81 204,37 <b>Tl</b> Талія	82 207,2 <b>Pb</b> Плюмбум Свинць, оливо	83 208,980 <b>Bi</b> Бісмут Вісмут	84 209 <b>Po</b> Полоній
7	10	<b>Fr</b> Францій [223]	<b>Ra</b> Радій 226,025	89 [227] <b>**Ac</b> Актиній	104 [261] <b>Unq</b> Уннілквадій	105 [262] <b>Unp</b> Уннілпентій	106 [263] <b>Uuh</b> Уннілгексат
Вищі оксиди		<b>R<sub>2</sub>O</b>	<b>RO</b>	<b>R<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>RO<sub>2</sub></b>	<b>R<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	
Леткі водневі сполуки					<b>RH<sub>4</sub></b>	<b>RH<sub>3</sub></b>	
*Ланта-ноїди	58 140,12 <b>Ce</b> Церій	59 140,906 <b>Pr</b> Празеодим	60 144,24 <b>Nd</b> Неодим	61 [145] <b>Pm</b> Прометій	62 150,36 <b>Sm</b> Самарій	63 151,96 <b>Eu</b> Європій	64 157,25 <b>Gd</b> Гадоліній
**Акти-ноїди	90 232,038 <b>Th</b> Торій	91 [231] <b>Pa</b> Протактиній	92 238,029 <b>U</b> Уран	93 [237] <b>Np</b> Нептуній	94 [244] <b>Pu</b> Плутоній	95 [243] <b>Am</b> Америцій	96 [247] <b>Cm</b> Курій

## ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА

У		П		І	
VI		VII		VIII	
				He Гелій	2 4,0026
				<div>Порядковий номер</div> <div>Символ елемента</div> <div>Атомна маса</div> <div>Назва елемента</div>	
8 15,999 Оксиген Сень		9 18,998 F Флуор Фтор		10 20,179 Ne Неон	
16 32,06 Супер ка		17 35,453 Cl Хлор		18 39,948 Ar Аргон	
24 51,996 Cr Хром		25 54,938 Mn Манган Марганець		26 55,847 Fe Ферум Залізо	
27 58,933 Co Кобальт		28 58,70 Ni Нікель			
34 78,96 Br Бром		35 79,904 Kr Криптон			
43 98,906 Mo Молибден		44 101,07 Ru Рутеній		45 102,905 Rh Родій	
46 106,4 Pd Паладій					
52 127,60 I Йод		53 126,904 Xe Ксенон			
74 186,207 W Вольфрам		75 186,207 Re Реній		76 190,2 Os Осмій	
77 192,22 Ir Іридій		78 195,09 Pt Платина			
84 [209] At Астат		85 [210] Rn Радон			
107 [264] Unh Уннїлгексїя		108 [265] Uno Уннїлоктїя		109 [266] Une Уннїленїя	
110 [272] Uun Унуннїлїя					
RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>	
H <sub>2</sub> R		HR			
65 158,925 Gd Гадоліній		66 162,50 Tb Тербій		67 164,93 Dy Диспрозій	
68 167,26 Ho Гольмій		69 168,934 Er Ербій		70 173,04 Tm Тулій	
71 174,97 Yb Ітербій		72 175,94 Lu Лютецій			
97 [247] Bk Берклій		98 [251] Cf Каліфорній		99 [254] Es Ейнштейній	
100 [257] Fm Фермій		101 [258] Md Менделєєв		102 [259] No Нобелій	
103 [260] Lr Лоуренс					

## ВІДПОВІДІ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ



### РОЗДІЛ 1

#### ◆ ВПРАВА 1

№ 14: приблизно у 100 разів. № 15 а)  $\approx 18$  млн. км; б)  $\approx 1,1$  млрд км ( $1,1 \cdot 10^9$  км) в)  $\approx 26$  млрд км ( $26 \cdot 10^9$  км); г)  $\approx 9500$  млрд км ( $9,5 \cdot 10^{12}$  км). № 16 Діаметр Сонця приблизно у 109 разів більший за діаметр Землі. № 19 Приблизно на сто світлових років. № 20 Відстань до зірок настільки велика, що ми не можемо її оцінити «на око». Тому вони нам здаються однаково далекими і розташованими на уявній сфері.

#### ◆ ВПРАВА 2

№ 8: у 1835 разів.

#### ◆ ВПРАВА 3

№ 12 г) туман складається з маленьких крапельок води. № 14 молекули цукру швидше рухаються, а відстані між молекулами води стають більшими. № 16: крапельки туману розсіюють світло у всі сторони.

#### ◆ ВПРАВА 4

№ 10 10 хв. № 11 0,245 м; 3500 м; 14 880 с. № 12 6 400 км або 6,4 Мм; 3 844 Мм; 0,3 мкм.

#### ◆ ВПРАВА 5

№ 17  $\Delta h = 0,01$  м,  $\varepsilon(h) \approx 0,065$  або 6,5%. № 18 а)  $\Delta m = 1$  г, б)  $m = (50 \pm 1)$  г, з точністю 2%. № 15  $l = (50 \pm 0,5)$  см,  $\varepsilon(l) \approx 0,0036$ , тобто 1%.

#### ◆ ВПРАВА 7

№ 1 1 л = 1000 мл. № 2 20 см<sup>2</sup>. № 3 378,5 см<sup>2</sup>. № 4  $V = 120$  см<sup>3</sup>. № 5 240 см<sup>3</sup>.

#### ◆ ВПРАВА 8

№ 4 електронні мікроскопи. № 7 «Загальна теорія відносності» Ейнштейна. № 6 діаметр волосу – 100 мкм, діаметр Гідрогену – 10 см. № 7 від супутників-ретрансляторів. № 8 процесор. № 9 рентгенівські. № 10  $\approx 600$  км/год.



## РОЗДІЛ 2

## ◆ ВПРАВА 10

№ 5 еліптичну. № 19 з) 50 км. № 21 за правилом додавання векторів.

## ◆ ВПРАВА 10

№ 6 шлях. № 8 5, 15, 20, 25 і 30 км/год. № 9 за 20 с. № 11 30 с. № 12 а) у другому випадку попереду велосипедиста їде фургон; б) 16,7 м/с; 74,4 м/с. № 13 дивлячись, як він рухається впродовж кожної секунди. № 14 250 м. № 15 28 800 км/год., це у 36 разів більше, ніж літак і в 11,5 разів швидше, ніж винищувач.

## ◆ ВПРАВА 11

№ 3 є принаймні дві причини: 1) усі тіла навколо нас рухаються разом з нами; 2) Земля обертається навколо своєї осі досить повільно. № 4 Земля обертається навколо своєї осі з Заходу на Схід, а нам здається, що Сонце рухається в протилежному напрямі, тобто зі Сходу на Захід. № 10 14 м/с. № 11 20 с. № 12 2 хв. № 13 210 м. № 14 600 м/с. № 15 45 с. № 16 1,5 хв. № 17 100 сходинок. № 18 швидкість точки В: а) 0; б)  $-3$  м/с; швидкість точки А: б) 3 м/с; а) 6 м/с. № 19 а) 15 см; б) 10 с.

## ◆ ВПРАВА 12

№ 2 згідно з формулою (13.1) вектор швидкості направлений за вектором переміщення. № 6 обидва спостерігачі бачать круги. № 7 однаково. № 8 через 5 хв. № 9 а) 7,5 км/год; б) 17,5 км/год. № 10 6 год. № 11 а) 4 км/год; б) 16 км/год. № 12 у річці.

## ◆ ВПРАВА 13

№ 2 потрібно за графіком визначити швидкість, а далі – за формулою:  $s = v \cdot t$ . № 4 тому що швидкість увесь час однакова. № 5 третє. № 12 б)  $s = 0,5 \cdot t$ ,  $s = t$ ,  $s = 1,5 \cdot t$ ;  $v = 0,5$ ,  $v = 1$ ,  $v = 1,5$ . № 15 підказка: швидкість першого тіла відносно другого становить 3 м/с.

## ◆ ВПРАВА 14

№ 6 середня швидкість визначається тільки на певному проміжку часу. № 8 а) 0; б) переднє. № 9 40 м. № 10 відстань однакова. № 11 автобус.

◆ **ВПРАВА 15**

№ 2 від радіусу і частоти. № 3 тахометр. № 6 2л. № 8 40 192 км. № 9 10 см. № 10 а) 2 400 об/хв; б) 50,24 м/с. № 11 92,7 хв, тобто  $\approx 1,5$  год. № 12 12,56 с. № 15 за умови рівності великої і малої півосей. № 16 на земній осі; радіуси кіл знаходяться в межах від нуля на полюсі до 6 400 км на екваторі. № 18 а) проти годинникової стрілки з частотою 5 об/с; б) маленьке 0,1 с, велике 0,2 с. № 19 а) за годинниковою стрілкою; б) останнє коліщатко обертається швидше, ніж перше. № 20 а) зможе; б) не зміниться. № 21 б)  $\approx 27$  км/год. № 22 довжина петлі 12 см, відстань між фокусами  $\approx 9$  см.

◆ **ВПРАВА 16**

№ 1 8. № 3 тому що він перестав обертатися навколо своєї осі. № 4 в основному, внаслідок впливу Місяця. № 7 на схід, а разом із небом – на захід. № 10  $\approx 1$  км/с. № 16 наближено – через годину, 5 хв. і ще «трішки»; точно – через 12/11 години. № 17 відносно Землі.



## РОЗДІЛ 3

◆ **ВПРАВА 18**

№ 6 через властивість інертності. № 7 а) через значну масу цеглини, вона не встигає зрушити з місця і вдарити по руці; б) відколота частина цеглини має меншу масу, ніж маса другої частини разом з рукою і корпусом людини. № 9 частина килима, по якій вдарили, різко рушає з місця, і частинки пилуки за нею «не встигають». № 11 а) не може; б) може, якщо рухається вниз по схилу і сили скомпенсовані. № 12 згідно з III законом Ньютона, сили однакові, незалежно від величини початкової швидкості вагонів. № 13 першому. № 14 можна перекинутися вперед. № 15 молоток, що набрав швидкість, важко зупинити.

◆ **ВПРАВА 19**

№ 7 а) 1000 кг; б) 1 г; в) 1 кг; г) 1 г. № 11 одна зернина. № 12 атомне ядро. № 14  $\approx 22$  г/см<sup>3</sup>. № 16 скляного. № 20 а) 0,83 г/см<sup>3</sup>; № 21 а) 1000 см<sup>3</sup>; б) 600 см<sup>2</sup>; в) 337,5 г. № 24 57,9 г.

## ◆ ВПРАВА 20

№ 13 а) розтягується; б) прогинається; в) стискаються. № 14 12 Н/см.  
 № 15 60 Н. № 17 5 Н/см. № 18  $F = (1,75 \pm 0,25)H$ , 0,14. № 19 к/2.

## ◆ ВПРАВА 21

№ 12 а)  $-4 \text{ м/с}^2$ . № 13 а)  $8 \text{ м/с}^2$ ; б)  $16 \text{ м/с}$ . № 18 20Н. № 19  $5 \text{ м/с}^2$ ;  $10 \text{ м/с}$ .  
 № 21 4 кг. № 22 40 см/с. № 23 порохові гази тиснуть на снаряд і гармату в протилежних напрямках. № 24 1,5 м/с.

## ◆ ВПРАВА 22

№ 8 повітря заважає рухатися тим сильніше, чим більша швидкість тіла.  
 № 9 деформацію викликають сила тяжіння і реакція опори. № 11 з моменту, коли коробка відірвалася від руки. № 12 можна. № 18 а) 30 Н; б) 30 Н; в) 20 Н.  
 № 19  $15 \text{ м}$ ;  $v = g \cdot t$ ,  $s = v_{cp} \cdot t$ .

## ◆ ВПРАВА 23

№ 13 ці матеріали тверді і мало зношуються. № 18 40 Н. № 19  $\approx 75\,000 \text{ Н}$ .  
 № 20 а) тертя спокою; б) тертя кочення. № 21 0,5 см.

## ◆ ВПРАВА 24

№ 13 500 000 Па. № 14 20 000 Па. № 15  $0,25 \text{ м}^2$ . № 16 500 млн. Па,  $(5 \cdot 10^8 \text{ Па})$ .  
 № 17 а) у 8 разів; б) у 2 рази.

## ◆ ВПРАВА 25

№ 9  $\approx 107 \text{ млн. Па}$ , ( $\approx 1050 \text{ атм.}$ ). № 10 133 280 Па, ( $\approx 1.3 \text{ атм.}$ ). № 11 а) не зміниться; б) збільшиться у 13,6 разів. № 13 а) 125 кг; б) 4 900 Па; в) 612,5 Н.  
 № 14 а) не зміниться; б) збільшиться. № 15 а) тому що густина води менша за густину ртуті; б)  $\approx 18,5 \text{ см}$ .

## ◆ ВПРАВА 26

№ 12 виникає різниця між зовнішнім тиском атмосфери і тиском в «середньому вусі». № 15 а) 360 м; б) з висотою густина повітря зменшується.  
 № 16 а) ртуть нижче рівня отвору виллється, а ртуть вище рівня отвору підніметься під верх трубки; б) уся ртуть виллється з трубки. № 17 вагу пляшки разом з водою. № 18 а) 10,34 м. № 19 9,8 Па. № 21 тиск у бульбашках звано більший за атмосферний, і вони починають розширюватися. № 24  $5 \cdot 10^{15} \text{ т}$ .  
 № 25 через 2 с. № 28  $p = p_0 + \rho gh$ . № 29 а) 760 мм рт. ст.; б) 800 мм рт. ст. в) 720 мм рт. ст.

## ◆ ВПРАВА 27

№ 9 рідина практично не стискається. № 11 2 000 Па. № 13 20 мм рт. ст. або 2 720 Па. № 14 ні. № 15 2 400 Н. № 17 збільшилася втричі. № 19 у 2 000 разів.  
 № 20 В.

## ◆ ВПРАВА 28

№ 10 вони однакові. № 11 залежить від матеріалу важків. № 12 тонна заліза. № 14 на більшій глибині виштовхувальна сила дещо більша. № 15 а) 0,4 л; б) 0,5 л. № 16 а) 0,5 Н; б) 0,3 Н. № 17 200 см<sup>3</sup>. № 18 а) 0,3 Н; б) 2,5 г/см<sup>3</sup>. № 19 залізна куля переважить. № 21  $\rho = (F_1 \cdot \rho_2 - F_2 \cdot \rho_1) / (F_1 - F_2)$ . № 23 50 см<sup>2</sup>. № 24 10 кг.

## ◆ ВПРАВА 29

№ 11 не буде. № 13 водень має меншу густину, ніж гелій. № 14 щоб кулю не розірвало в стратосфері. № 16 200 г. № 18 ні. № 19 а) ні; б) так. № 21 1 600 м<sup>3</sup>. № 22 на  $m / (\rho \cdot S)$ . № 24 а) виштовхувальна сила і сила натягу нитки; б) виштовхувальна сила нічим не скомпенсована. № 25 понизиться. № 26 Д.



## РОЗДІЛ 4

## ◆ ВПРАВА 30

№ 13 виконує, за рахунок тремтіння м'язів. № 15 480 Дж. № 16 а) -4,9 Дж; б) 4,9 Дж. № 17 76 440 Дж. № 18 0,08 Дж. № 21 60 Вт. № 22  $\approx 13067$  Вт або 13,1 кВт. № 23 а) 1 600 Вт; б) 3 200 Вт. № 24 31 360 Дж або 31,36 кДж.

## ◆ ВПРАВА 31

№ 3 в)  $mv^2/2$ . № 9 на рух піску витрачається енергія. № 10 у 25 разів. № 12 у 9 разів. № 13 у стільки ж разів, у скільки відрізняються їх жорсткості. № 15 100 Дж. № 16 12 Дж. № 17 6 млн. Дж. Робота витрачена на подолання сили тяжіння, в результаті чого гелікоптер набув потенціальної енергії 6 МДж. № 18 а)  $2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж або 2,5 мДж; б) 10 мДж. № 19 а) у 3 рази.

## ◆ ВПРАВА 32

№ 8 пісок поглинає усю кінетичну енергію м'яча. № 10 від початкової потенціальної енергії м'яча відняти значення кінетичної енергії в момент падіння. № 11 10 м/с. № 12 200 м/с. № 13 а) 2,5 Дж; б)  $\approx 30$  м/с; в)  $\approx 50$  м. № 15 4 Дж. № 16 18 750 Вт або 18,75 кВт. № 17 у 4 рази. № 18 437 500 Дж або 437,5 кДж.

◆ **ВПРАВА 33**

№ 5 у другому випадку плече сили тяжіння, що діє на стержень велике. № 10 заважає сила тертя в осі коромисла. № 17 щоб отримати виграш у швидкості. № 18 не менше, ніж 7. № 19 відношення сил, що діють на плечі важеля, обернено пропорційне відношенню відповідних довжин цих плечей.

◆ **ВПРАВА 34**

№ 7 від кута нахилу площини до горизонту і коефіцієнту тертя. № 9 у 6 разів. № 12 програючи у силі, велосипедист виграє у швидкості. № 15 див. мал. 35.8. № 16 в) спіраль. № 17 чим менший крок гвинта – тим більший виграш у силі. № 18 50 Н. № 19 а) 5 Н вгору; б) 5 Н вгору; в) 5 Н; г) 5 Н вниз; д) 11 Н.

◆ **ВПРАВА 35**

№ 9 125 Дж. № 12 проти годинної стрілки. № 14 2 400 Дж. № 16 а) 5 Дж; б) 0,5 Дж; в)  $\approx 91\%$ . № 18 коли людина крокує, вона постійно піднімає і опускає свій корпус, витрачаючи на це зайву енергію (поспостерігайте, як рухається під час спортивної ходьби спортсмен).

# ЗМІСТ

## РОЗДІЛ 1

<b>ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА</b> .....	4
§ 1. Фізика як фундаментальна наука про природу. Методи наукового пізнання .....	5
§ 2. Початкові відомості про будову речовини. Речовина і поле.....	9
§ 3. Основні положення атомно-молекулярного вчення .....	13
§ 4. Фізичні величини. Засоби вимірювання. Міжнародна система одиниць СІ .....	18
§ 5. Точність вимірювань. Похибки .....	23
§ 6. Визначення площі та об'єму .....	26
§ 7. Внесок українських учених у розвиток і становлення фізики.....	29
§ 8. Зв'язок фізики з іншими науками. Фізика в науці, техніці, виробництві й побуті .....	33
ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1 .....	38

## РОЗДІЛ 2

<b>МЕХАНІЧНИЙ РУХ</b> .....	42
§ 9. Як описують механічний рух.....	43
§ 10. Рівномірний прямолінійний рух.....	50
§ 11. Відносність руху .....	54
§ 12. Закон додавання швидкостей.....	58
§ 13. Графіки шляху і швидкості .....	62
§ 14. Нерівномірний рух.....	65
§ 15. Рівномірний рух по колу .....	69
§ 16. Рух планет і Місяця .....	75
§ 17. Коливальний рух. Маятники.....	80
ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 .....	85

## РОЗДІЛ 3

<b>ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА</b> .....	90
§ 18. Взаємодія тіл. Інертність та інерція. Перший закон Ньютона .....	91
§ 19. Маса тіла. Густина речовини .....	94
§ 20. Сили в природі. Сила пружності. Закон Гука. Динамометри .....	99
§ 21. Прискорення. Рівнодійна сил. II-й і III-й закони Ньютона.....	106
§ 22. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість.....	114
§ 23. Сили тертя. Коефіцієнт тертя ковзання.....	121
§ 24. Тиск твердих тіл на поверхню. Сила тиску .....	125
§ 25. Тиск рідин і газів. Сполучені посудини.....	128
§ 26. Атмосферний тиск. Дослід Торрічеллі .....	133
§ 27. Манометри. Насоси. Гідравлічний прес .....	140

§28. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон Архімеда .....	146
§29. Умови плавання тіл.....	151
ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 .....	157

## РОЗДІЛ 4

<b>МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ</b> .....	164
§30. Механічна робота. Потужність .....	165
§31. Механічна енергія та її види .....	170
§32. Закон збереження механічної енергії .....	175
§33. Момент сили. Умови рівноваги важеля .....	179
§34. Прості механізми.....	184
§35. Коефіцієнт корисної дії механізмів (ККД) .....	188
§36. Розвиток фізичної картини світу.....	192
§37. Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес....	197
ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4 .....	202

<b>ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ</b> .....	206
---------------------------------	-----

СЛОВНИК ДЕЯКИХ ТЕРМІНІВ.....	231
------------------------------	-----

## ДОДАТКИ

ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ (ЛАБОРАТОРІЇ) ФІЗИКИ .....	235
КАБІНЕТ ФІЗИКИ.....	237
ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА .....	239
ВІДПОВІДІ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ .....	240

*Навчальне видання*

ПШЕНІЧКА Пауль Францович,  
МЕЛЬНИЧУК Степан Васильович

# ФІЗИКА

підручник для 7 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Редактор *Наталія Олексіївич*  
Коректор *Анастасія Серікова*  
Художник *Ігор Талалай*  
Дизайн і верстка *Сергія Максимця, Ігоря Стусика*

Формат 70x100/16. Ум.-друк. арк. 20,00. Обл.-вид. арк. 19,00. Наклад 696 прим. Зам. № 1056.

Видавець і виготовлювач видавничий дім „Букрек”,  
вул. Радищева, 10, м. Чернівці. 58000.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ЧЦ № 1 від 10.07.2000