

Фізика

В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова,
Ю. І. Горобець, І. Ю. Ненашев, О. О. Кірюхіна

«Фізика»

підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів

За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ФІЗИКА

7

КЛАС



$W_k = \frac{1}{2}mv^2$
 $F_{арх} = \rho_{рід} gV_{заг}$

ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ КАБІНЕТУ ФІЗИКИ

1

Загальні положення

1.1. Інструкція з безпеки для кабінету фізики навчального закладу системи загальної середньої освіти поширюється на всіх учасників навчально-виховного процесу під час проведення занять з фізики (демонстраційних дослідів, лабораторних і практичних робіт).

1.2. Під час навчально-виховного процесу у кабінетах фізики загальноосвітніх навчальних закладів учні проходять інструктаж з безпеки праці та навчання, надання першої (долікарської) допомоги у випадку характерних ушкоджень. Інструктаж проводить учитель фізики перед початком занять у кабінеті фізики, про що здійснюється запис у журналі.

2

Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення дослідів.

2.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.

2.3. Перевірте наявність і надійність з'єднувальних провідників, приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдання.

2.4. Починайте виконувати завдання тільки з дозволу вчителя.

2.5. Виконуйте тільки ту роботу, що передбачена завданням або доручена вчителем.

3

Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

3.1. У разі травмування (поранення, опіки тощо) або нездужання негайно повідомте вчителя.

3.2. У разі виникнення непередбачуваного загоряння, пожежі тощо необхідно терміново повідомити про це вчителя.

4

Вимоги безпеки під час виконання роботи

4.1. Будьте уважні й дисципліновані, точно виконуйте вказівки вчителя.

4.2. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

4.3. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.

4.4. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтесь обертових частин машин і не нахиляйтеся над ними.

4.5. Для складання експериментальних установок користуйтеся провідниками з клемми та запобіжними чохлами з міцною ізоляцією та без видимих пошкоджень.

4.6. Складаючи електричне коло, уникайте перетину провідників; забороняється користуватися провідниками зі спрацьованою ізоляцією і вимикачами відкритого типу.

4.7. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу. Складене коло вмикайте тільки після перевірки і з дозволу вчителя. Наявність напруги в колі можна перевіряти тільки приладами або покажчиками напруги.

4.8. Не торкайтесь елементів кола, що не мають ізоляції й перебувають під напругою. Не виконуйте повторно з'єднань у колах і не замінюйте запобіжники до вимикання джерела електроживлення.

4.9. Користуйтеся інструментом із заізованими ручками.

4.10. Після закінчення роботи вимкніть джерело електроживлення, а потім розберіть електричне коло.

4.11. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя.

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

4.13. Для приєднання споживачів до мережі користуйтеся штепсельними з'єднаннями.

5

Вимоги безпеки після закінчення роботи

Прибирання робочих місць після закінчення практичних занять виконуйте з дозволу вчителя.

ФІЗИКА

**Підручник для 7 класу
загальноосвітніх навчальних закладів**

За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

Видавництво «Ранок»
2015

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б 26

Підручник створено авторським колективом у складі:
В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, Ю. І. Горобець,
І. Ю. Ненашев, О. О. Кірюхіна

Автори й видавництво висловлюють щире подяку:
доктору *Андреасу Гінсбаху*, вчителю фізики і математики
Міжнародної школи в Силіконовій Долині (США);
Миколі Кірюхіну, президенту Співки наукових і інженерних об'єднань
України, кандидату фізико-математичних наук;
Грині Хован, вчителю фізики НВК «Домінанта», кандидату педагогічних наук,
за слушні зауваження й конструктивні поради, що сприяли
покращенню змісту підручника.

Б 26 Фізика : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закладів / [В. Г. Бар'яхтар,
С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова та ін.]; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. —
Х. : Вид-во «Ранок», 2015. — 268 с. : іл., фот.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721

Запрошуємо до діалогу щодо підручника: pidruchnik-2015@ranok.com.ua

- © Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О.,
Божинова Ф. Я., Горобець Ю. І.,
Ненашев І. Ю., Кірюхіна О. О., 2015
- © Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2015
- © Солонський С. П., фотографії, 2015
- © ТОВ Видавництво «Ранок»,
оригінал-макет, 2015

Дорогі друзі!

Цього навчального року починається ваша подорож світом нової для вас науки — фізики. Сподіваємося, що ви зможете побачити й оцінити все цікаве, що пропонує вам ця дивовижна наука про природу. Ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття.

Вам зустрінуться не тільки добре відомі з курсу природознавства поняття: «фізичне тіло», «речовина», «атоми», «молекули», «дифузія», «механічний рух»,— а й багато нових.

Жодна справжня подорож не буває легкою, але ж скільки нового ви дізнаєтеся про світ навколо! І головним помічником у цьому стане підручник, який ви тримаєте в руках.

Будьте уважними й наполегливими, вивчаючи зміст кожного параграфу, і тоді ви зможете зрозуміти суть викладеного матеріалу та застосувати здобуті знання в повсякденному житті.

Зверніть увагу, що параграфи завершуються рубриками: «*Підбиваємо підсумки*», «*Контрольні запитання*», «*Вправа*». Для чого вони потрібні і як з ними краще працювати?

У рубриці «*Підбиваємо підсумки*» подано відомості про основні поняття та явища, з якими ви ознайомилися в параграфі. Отже, ви маєте можливість іще раз звернути увагу на головне.

«*Контрольні запитання*» допоможуть з'ясувати, чи зрозуміли ви вивчений матеріал. Якщо ви зможете відповісти на кожне запитання, то все гаразд, якщо ж ні, знову зверніться до тексту параграфу.

Рубрика «*Вправа*» зробить вашу подорож у дивовижний світ фізики ще цікавішою, адже ви зможете застосувати отримані знання на практиці. Завдання цієї рубрики диференційовані за рівнями складності — від доволі простих, що потребують лише уважності, до творчих, розв'язуючи які слід виявити кмітливість і наполегливість. Номер кожного завдання має відповідний колір (у порядку підвищення складності: синій, зелений, жовтий, червоний, фіолетовий).

Серед завдань є такі, що слугують для повторення матеріалу, який ви вже вивчали в курсах природознавства, математики або на попередніх уроках фізики.

А от ті, хто не звик зупинятися на досягнутому, знайдуть багато корисного на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання». Це і відеоролики, що демонструють у дії той чи інший фізичний дослід або процес, відображений на рисунку в підручнику, й інформація, яка допоможе вам виконати завдання, тощо.

Зверніть увагу на те, що кожна рубрика в підручнику має відповідну позначку, — це допоможе вам орієнтуватися в поданому матеріалі:



Підбиваємо підсумки



Контрольні запитання



Вправа



Завдання на повторення



Експериментальне завдання



Інтернет-підтримка

Фізика — наука експериментальна, тому в підручнику на вас очікують *експериментальні завдання та лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви почнете краще розуміти й любити фізику.

Матеріали, запропоновані наприкінці кожного розділу під рубриками «Підбиваємо підсумки розділу» і «Завдання для самоперевірки», допоможуть систематизувати отримані знання, будуть корисними під час повторення вивченого та в ході підготовки до контрольних робіт.

Перед тим як розпочати роботу над навчальним проектом, радимо уважно ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації, поданими наприкінці підручника.

Для тих, хто хоче більше довідатися про розвиток фізичної науки й техніки в Україні та світі, знайдеться чимало цікавого й корисного в рубриках «Фізика і техніка в Україні» і «Енциклопедична сторінка».

Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. МЕТОДИ НАУКОВОГО ПІЗНАННЯ

- Ви знаєте, як виміряти довжину зошита, а дізнаєтесь, як визначити розмір молекули
- Ви знаєте імена видатних учених, а дізнаєтесь про їхні відкриття
- Ви вмієте визначати об'єм прямокутного паралелепіпеда, а навчитеся вимірювати об'єм тіла будь-якої форми
- Ви знаєте, як виглядають моделі літаків, а з'ясуєте, чи можна побачити фізичні моделі та для чого їх створюють
- Ви розумієте слово «похибка», а будете розуміти, що таке відносна та абсолютна похибки



§ 1. ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ. ФІЗИЧНІ ТІЛА ТА ФІЗИЧНІ ЯВИЩА

У перекладі з давньогрецької слово «фізика» означає «природа». Отже, *фізика* — наука про природу, або природничу науку.

Звернемося до тлумачного словника. Словом «природа» зазвичай називають навколишній світ. Але існує також інше тлумачення: природа — це сутність, основна властивість чогонебудь. Згадайте: «природа блискавки», «природа вулканічної діяльності», «природа тіл Сонячної системи».

Спробуємо з'ясувати, в якому ж розумінні використано слово «природа» в назві предмета, який ми починаємо вивчати.

1 Дізнаємося, як зароджувалася фізика

Ще в далеку давнину люди почали досліджувати навколишній світ. Передусім це було викликане повсякденними потребами — надійно захиститися від негоди та хижаків, зібрати врожай, врятуватися від ворогів тощо. Людині потрібно було навчитися переміщувати й піднімати важкі камені, щоб збудувати домівку з міцними стінами; виплавляти метал із руди, щоб виготовити надійні й гострі наконечники стріл, плуги, сокири...

Проте не тільки практичні потреби спонукали до вивчення Природи. Допитливість, властива людині, штовхала її до пошуку відповідей на численні питання: як виникли Земля й Сонце, Місяць і зорі? як літають птахи і як плавають риби? чому трапляються землетруси, повені, посухи, пожежі? звідки з'явилася сама людина і яким є її призначення (рис. 1.1)? Так почала зароджуватися «наука про природу», яку сьогодні називають *природознавство*. Із часом обсяг знань збільшувався і єдина «наука про природу» почала розпадатися на окремі дисципліни (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Намагаючись зрозуміти навколишній світ, людина ставить перед собою безліч запитань і шукає відповіді на них



Рис. 1.2. Фізика, хімія, географія, біологія, медицина мають свій початок у природознавстві

Так, у стародавні часи виникла астрономія — наука, що вивчала розташування та рух небесних тіл, потім — філософія (у перекладі з давньогрецької це слово означає «любов до мудрості»). Філософи збирали знання про навколишній світ, доповнювали їх власними ідеями та передавали своїм учням.

2 З'ясуємо, що вчені називають матерією

З античних часів у науці використовується поняття матерії. Почувши слово «матерія», багато хто з вас напевне уявить якусь тканину. Проте для вчених це поняття є набагато ширшим! *Матерія* — це все те, що нас оточує.

Спостерігаючи світ навколо, ви бачите різноманітні фізичні тіла (рис. 1.3). Будь-яке фізичне тіло складається з речовини — одного з видів матерії. Речовина — це і метали, і пластики, і дерево, і повітря.

Фізичне тіло — це певна частина простору, зайнята речовиною.



Рис. 1.3. Приклади фізичних тіл

Фізичні тіла можуть бути твердими (олівець, камінь, стіл), рідкими (краплі дощу, олія у склянці) і газоподібними (повітря в повітряній кульці). Багато тіл, що нас оточують, мають тверді, рідкі та газоподібні складові (живі істоти, машини, хмари).

У XIX ст. вчені встановили, що крім речовини існує ще один вид матерії — *поле*. За допомогою поля — невидимих електромагнітних хвиль — ми маємо змогу спілкуватися по мобільному телефону, капітан корабля може з'ясувати координати свого судна через супутник. На подібних хвилях працюють радіо й телебачення. Ще одним прикладом електромагнітного поля є світло.

Речовина та поле різняться своїми властивостями, але можуть перетворюватися одне в одне. Сяйво Сонця та зір, народження елементарних частинок у надсучасних прискорювачах — це результати такого перетворення.

Наприкінці XX ст. за межами Сонячної системи науковці відкрили нові матеріальні сутності, фізичну природу яких не встановлено й нині. Ці матеріальні сутності назвали *темна матерія* і *темна енергія*. Згідно з даними 2013 р., всесвіт на 95,1 % складається з темної матерії й темної енергії і лише на 4,9 % — зі «звичайної» матерії (речовини та поля). Питання щодо властивостей темної енергії й темної матерії — головна проблема сучасної фізики.

3 Розглядаємо фізичні явища

Навколишній світ безперервно змінюється. Тіла переміщуються одне відносно одного, деякі з них зіштовхуються і, можливо, руйнуються, з одних тіл утворюються інші... Перелік таких змін можна продовжувати й продовжувати — недарма ще давньогрецький філософ *Геракліт* (544–483 рр. до н. е.) зауважив: «Усе тече, усе змінюється». Зміни в природі вчені називають природними явищами (рис. 1.4).

Щоб краще зрозуміти складні природні явища, учені розглядають їх як сукупність **фізичних явищ** — *явищ, які можна описати за допомогою відповідних фізичних законів*.

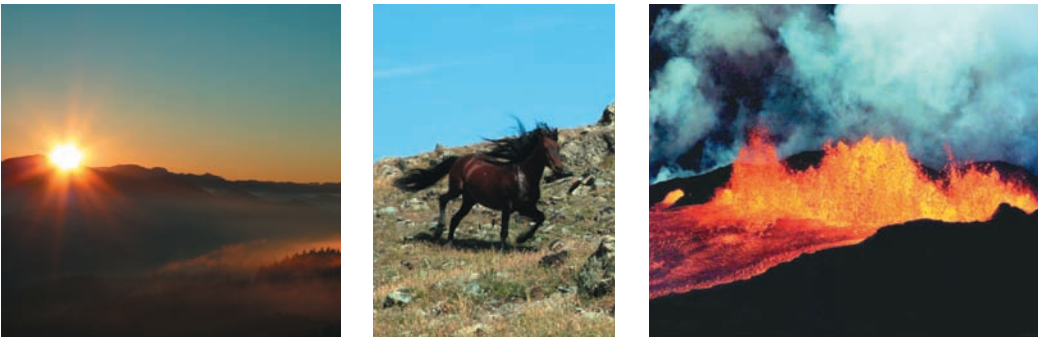


Рис. 1.4. Приклади природних явищ

Фізичні явища	Приклади
Механічні	Політ ракети, падіння каменя, обертання Землі навколо Сонця
Світлові	Спалах блискавки, світіння електричної лампочки, світло від вогнища, сонячні та місячні затемнення, веселка
Теплові	Замерзання води, танення снігу, нагрівання їжі, згоряння палива в циліндрі двигуна, лісова пожежа
Звукові	Дзвін, пташиний спів, гуркіт грому
Електромагнітні	Розряд блискавки, електризація волосся, притягання магнітів

Наприклад, грозу можна розглядати як сукупність блискавки (електромагнітне явище), гуркоту грому (звукове явище), руху хмар і падіння крапель дощу (механічні явища), пожежі, що може виникнути внаслідок влучення блискавки в дерево (теплове явище) (рис. 1.5).

Розгляньте приклади деяких фізичних явищ, наведені в таблиці. Як ви гадаєте, що може бути спільного між польотом ракети, падінням каменя та обертанням Землі? Відповідь проста. Усі наведені в цьому ряді явища є *механічними* й описуються одними законами — *законами механічного руху*.

Наведемо ще приклад. Знімаючи светр або розчісуючи волосся пластмасовим гребінцем, ви, напевне, звертали увагу на крихітні іскорки, які при цьому з'являються. Ці іскорки та потужний розряд блискавки однаково на-



Рис. 1.5. Складне природне явище — гроза — являє собою сукупність різних фізичних явищ



Рис. 1.6. Приклади електромагнітних явищ

лежать до *електромагнітних явищ* (рис. 1.6), а отже, підпорядковуються одним законам. Таким чином, для дослідження електромагнітних явищ не обов'язково чекати на грозу. Досить вивчити, як поведуться безпечні іскорки, щоб зрозуміти, чого чекати від блискавки та як уникнути можливої небезпеки.

Вивчаючи фізичні явища, вчені, зокрема, встановлюють їхній *взаємозв'язок*. Так, розряд блискавки (електромагнітне явище) обов'язково супроводжується значним підвищенням температури в каналі блискавки (теплове явище). Дослідження цих явищ у їхньому взаємозв'язку дозволило не тільки краще зрозуміти природне явище — грозу, але й знайти шлях для практичного застосування електричного розряду. Мабуть, кожен, хто проходив повз будівельний майданчик, бачив робітників у захисних масках і сліпучі спалахи *електрозварювання*. Електрозварювання (спосіб з'єднання металевих деталей за допомогою електричного розряду) є прикладом практичного використання наукових досліджень.

4 Дізнаємося про фізику

Настав час визначити, що ж вивчає фізика.

Фізика — це природнича наука, яка вивчає найзагальніші закономірності явищ природи, властивості та будову матерії, закони її руху.

Фізика є основною, фундаментальною природничою наукою. Чому так? Адже існують й інші природничі науки: біологія, хімія, астрономія, географія тощо.

По-перше, *фізика вивчає найбільш загальні й фундаментальні закономірності*, які визначають структуру та поведінку найрізноманітніших об'єктів — від гігантських зір до найдрібніших частинок речовини — атомів і молекул.

По-друге, *фізика спирається на фундаментальні поняття: час і простір, матерія та рух*. Саме ці поняття описують будь-які події, що відбуваються у всесвіті.

По-третє, *закони фізики є основою будь-якої природничої науки*. Наприклад, в *астрономії* закони фізики пояснюють причини світіння та будову

зір, утворення планет, рух будь-яких космічних об'єктів. У *географії* закони фізики застосовують для пояснення клімату, течій річок, утворення рельєфу. У *хімії* саме фізика пояснює напрямок та швидкість перебігу хімічних реакцій.

5 Доводимо, що фізика є основою техніки

Зіставимо морські подорожі в давнину і сьогодні (рис. 1.7). На відміну від вітрильника XVII—XVIII ст., судно XXI ст. має двигун і не залежить від примх вітру. У сучасного капітана є детальна карта; судно має GPS-навігатор, завдяки якому завжди відомі курс судна та місце його перебування; сонар*, який попередить про підводні скелі та рифи; радар**, який виявить айсберги, скелі та інші судна в умовах поганої видимості. У разі аварії завжди можна викликати допомогу по радіо. Очевидно, що із сучасним обладнанням морські мандрівки стали швидшими та безпечнішими.

Протягом усієї історії люди створювали різноманітні технічні пристрої на основі фізичних знань.

Вивчення теплових явищ привело до створення теплових двигунів, які працюють в автомобілях і мотоциклах, на судах і в літаках, на теплових електростанціях і в ракетноносіях.

Завдяки відкриттям у галузі електрики ми освітлюємо приміщення, маємо телевизор, телефон, комп'ютер, електричний нагрівник, пральну машину тощо.

Приблизно половина електричної енергії в нашій країні виробляється на атомних електростанціях, створених завдяки відкриттям у галузі ядерної фізики.

Лікарі та будівельники, мандрівники і хлібороби, енергетики й машинобудівники користуються пристроями і технологіями, створення яких стало можливим завдяки знанню законів, що свого часу були відкриті фізиками.

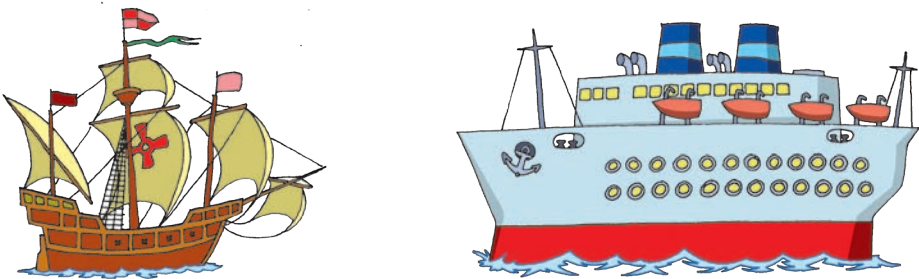


Рис. 1.7. Христофор Колумб плів до берегів сучасної Америки два місяці. Капітан сучасного судна подолав би цю відстань менш ніж за тиждень

* *Сонар* — пристрій для дослідження морського дна за допомогою ультразвукових хвиль.

** *Радар* — пристрій для виявлення об'єктів за допомогою радіохвиль.



Підбиваємо підсумки

Всесвіт складається з різних видів матерії: речовина, поле, темна матерія, темна енергія. Усі фізичні тіла «побудовані» з речовини.

У природі постійно відбуваються зміни, які називають природними явищами. Складні природні явища розглядають як сукупність фізичних явищ — таких, які можна описати за допомогою відповідних фізичних законів. Фізичні явища бувають теплові, світлові, механічні, звукові, електромагнітні тощо.

Фізика є фундаментальною природничою наукою. Вона вивчає найзагальніші закономірності явищ природи, властивості та будову матерії, закони руху матерії.



Контрольні запитання

1. Що означає слово «фізика» в перекладі з грецької? **2.** Що таке матерія? Які існують види матерії? **3.** Наведіть приклади фізичних тіл. Зазначте, які це тіла (рідкі; тверді; газоподібні; мають змішану структуру). **4.** Наведіть приклади фізичних явищ — електромагнітних, теплових, світлових, механічних. **5.** Що вивчає фізика? **6.** Чому фізика є основною природничою наукою? **7.** Наведіть докази того, що фізика є основою техніки.



Вправа № 1

- Назвіть речовини, з яких складаються такі тіла: підручник, олівець, футбольний м'яч, склянка, автомобіль.
- Заповніть таблицю на основі наведеного речення*.
Дослідник поклав шматок олова у сталеву посудину та розплавив його в полум'ї газового пальника.

Фізичне явище	Фізичне тіло	Речовина

- Визначте, про які фізичні явища йдеться в реченнях.
Обертається гвинт електром'ясорубки. Дріт нагрівся в полум'ї пальника. Навколишній світ ми бачимо різнокольоровим.
- Поміркуйте, які фізичні явища можна «побачити» в таких природних явищах: виверження вулкана; повінь; сходження снігової лавини; падіння зірки.
- Чи можна вважати фізичними явищами події, які ми бачимо уві сні або уявляємо?
- Наведіть приклади застосування фізичних знань у побуті.
- Закономірності яких фізичних явищ треба знати, щоб створити автомобіль?
- Уявіть, що ви потрапили на безлюдний острів. Як ви можете дізнатися, з яких речовин складаються тіла, що вас оточують, і в якому агрегатному стані вони перебувають? Спробуйте записати план ваших досліджень та проілюструвати його. Наведіть загальновідомі факти на підтвердження ваших висновків щодо результатів дослідження.



* Зрозуміло, що *таблиці, подані в підручнику, слід перенести до зошита*. Кількість стовпчиків у таблиці має бути такою, як наведено у підручнику, а от кількість рядків, як правило, необхідно збільшити. Чи потрібно це робити і скільки додавати рядків, вирішуєте ви самі виходячи з умови завдання. І це зовсім не складно!

Так, виконуючи завдання 2, до таблиці слід обов'язково додати рядки, оскільки в реченні йдеться, наприклад, більш ніж про одне фізичне тіло.

§ 2. ПОЧАТКОВІ ВІДОМОСТІ ПРО БУДОВУ РЕЧОВИНИ. МОЛЕКУЛИ. АТОМИ

На уроках природознавства у 5 класі ви дізналися, що всі речовини складаються з дрібних частинок — молекул, атомів. Ви також дізналися, що атоми мають спеціальні назви та символи для позначення, наприклад Гідроген (H), Оксиген (O), Карбон (C), Сульфур (S). Зараз науці відомі 118 різних видів атомів і мільйони різних речовин. Як же пояснити такі розбіжності в цифрах? З'ясуємо.

1 Розрізняємо атом і молекулу

Речовини здебільшого складаються з молекул (рис. 2.1). Чому ж існує така величезна кількість — мільйони! — різних речовин? Згадайте українську абетку: вона має лише 33 букви, проте з них можна скласти тисячі слів. Отже, проведемо аналогію: кожна буква відповідає окремому атому, а кожне слово — певній молекулі, тобто певній речовині.

На рис. 2.1, б подано схематичне зображення молекули води, яка складається з трьох атомів: двох атомів Гідрогену та одного атома Оксигену. Користуючись нашою аналогією, це — слово із трьох букв. На рис. 2.1, г наведено схему більш складної молекули метанолу, яка складається із шести атомів. Аналог цієї молекули — слово із шести букв. З наведених прикладів зрозуміло, що кожна нова молекула (нова комбінація атомів) відповідає новій речовині. Таким чином, із 118 видів атомів можна скласти мільйони різноманітних молекул і, відповідно, отримати мільйони різноманітних речовин.

2 Намагаємось уявити розміри атомів

Світ молекул, атомів і їхніх складників називають *мікросвітом*. Характеризуючи об'єкти мікросвіту, вчені використовують числа, що суттєво відрізняються від тих, з якими людина має справу в повсякденному житті. Для короткого запису таких чисел використовують степінь числа 10^* . Так, *розмір атома приблизно дорівнює 0,000 000 000 1 м, або $1 \cdot 10^{-10}$ м*. Щоб уявити, наскільки малим є це значення, наведемо приклади.

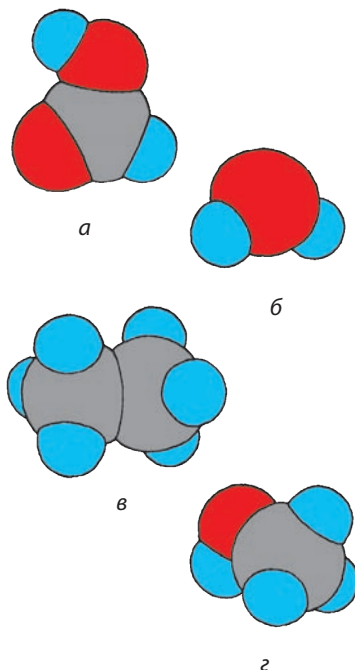


Рис. 2.1. Схематичне зображення молекул деяких речовин: а — мурашиної кислоти (НСООН); б — води (H_2O); в — етану (C_2H_6); г — метанолу ($\text{СН}_3\text{ОН}$). Сині кульки — моделі атомів Гідрогену, червоні — Оксигену, сірі — Карбону

* Такий запис називають *стандартним виглядом числа*, тобто це запис числа у вигляді добутку $a \cdot 10^n$, де $1 \leq a < 10$, n — ціле число. Число n називають порядком числа. Наприклад, порядок числа, що передає розмір атома, становить -10 .

Приклад 1. Якщо з балона зі стисненим повітрям через мікроскопічну тріщину буде витікати щосекунди мільярд частинок (атомів і молекул), з яких складається повітря, то за 650 років маса балона зменшиться лише на 0,001 г.

Приклад 2. У головці сталеві булавки, радіус якої 1 мм, міститься близько 100 000 000 000 000 000 000, або $1 \cdot 10^{20}$ атомів заліза. Якщо ці атоми розмістити один за одним, то отримаємо ланцюжок завдовжки 20 мільйонів кілометрів, що приблизно в 50 разів більше за відстань між Землею і Місяцем.

Побачити окремі атоми та молекули навіть у найпотужніший оптичний мікроскоп неможливо, але в ХХ ст. вчені створили прилади, які дозволяють не тільки бачити окремі молекули речовини, а навіть переміщати їх з місця на місце. Один із таких приладів — електронний мікроскоп.

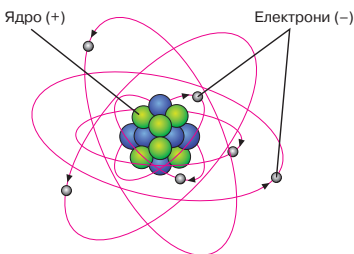


Рис. 2.2. Планетарна модель атома: у центрі атома — ядро, навколо якого обертаються електрони. Насправді відстань від ядра до електронів перевищує розмір ядра в 100 000 разів



Рис. 2.3. Якщо взяти горох і пшона та ретельно їх перемішати, побачимо, що об'єм суміші менший, ніж сума об'ємів її компонентів. Це пояснюється тим, що деякі крупинки пшона потрапили в проміжки між горошинами

3 Згадуємо будову атома

Атом, як і молекула, має складну структуру. Атом являє собою *ядро*, оточене легкими частинками — *електронами*. Діаметр ядра атома набагато менший, ніж діаметр власне атома, — приблизно у стільки разів, у скільки розмір горошини менший за розмір футбольного поля. Внутрішню будову атома наочно описати неможливо, тому для пояснення процесів, які відбуваються в атомі, створено його фізичні моделі*, наприклад планетарну модель атома (рис. 2.2).

Електрони можуть залишати одні атоми та приєднуватися до інших. Якщо атом втратив один або кілька електронів, то атом перетворюється на *позитивний йон*. Якщо ж до атома приєднались один або кілька електронів, то атом перетворюється на *негативний йон*.

4 Переконаємося в наявності проміжків між молекулами

Як ви вважаєте: якщо змішати 100 мл води та 100 мл спирту, яким буде об'єм суміші? Насправді він буде меншим, ніж 200 мл! Річ у тім, що *між молекулами (атомами, йонами) існують проміжки*, і в ході змішування двох рідин молекули води потрапляють у проміжки між молекулами спирту, тому загальний об'єм суміші стає меншим, ніж сума об'ємів води та спирту. Цей дослід добре моделюється за допомогою пшона та гороху (рис. 2.3).

* Докладніше про фізичні моделі ви дізнаєтесь у § 3.



Рис. 2.4. Скориставшись лійкою з довгим носиком, можна акуратно налити мідний купорос на дно склянки з водою



Рис. 2.5. Спостереження явища дифузії в рідинах: у результаті дифузії різка межа між мідним купоросом і водою з часом зникає

5 Знайомимося з тепловим рухом

З 5 класу ви знаєте таке явище, як *дифузія* (від латин. *diffusio* — поширення, розтікання).

Дифузія — процес взаємного проникнення молекул (атомів, йонів) однієї речовини в проміжки між молекулами (атомами, йонами) іншої речовини, внаслідок чого відбувається самовільне перемішування дотичних речовин.

Проведемо дослід. У прозору посудину з чистою водою наллємо мідний купорос так, щоб рідини не змішалися (рис. 2.4). Спочатку спостерігатимемо чітку межу між водою і розчином, проте, залишивши посудину в спокої на кілька днів, побачимо, що вся рідина в посудині набула бірюзового кольору (рис. 2.5).

Причиною дифузії є *безперервний хаотичний рух частинок речовини* (молекул, атомів, йонів). Завдяки такому рухові речовини перемішуються без жодного зовнішнього втручання (рис. 2.6).

Безперервний хаотичний рух частинок речовини називають *тепловим рухом*, оскільки збільшення (зменшення) температури речовини спричиняє збільшення (зменшення) середньої швидкості руху її частинок. Так, якщо налити мідний купорос не в одну, а в дві посудини з водою і одну посудину розташувати в теплому місці, а другу — в холодному, то через деякий час

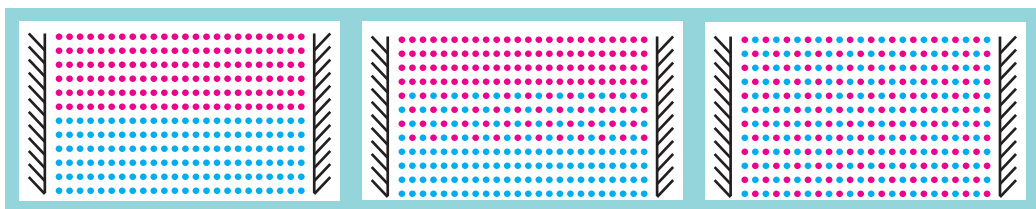


Рис. 2.6. Схематичне зображення процесу дифузії: молекули на межі розподілу речовин міняються місцями, і в результаті з часом речовини повністю перемішуються



Рис. 2.7. Провислу краплю води втримують від падіння сили притягання між молекулами

побачимо, що в теплому місці дифузія відбувається набагато швидше.

6 Підтверджуємо взаємодію молекул (атомів, йонів)

Чому частинки, з яких складаються фізичні тіла, не розлітаються навсібіч? Понад те, тіла не тільки не розсипаються на окремі молекули, а навпаки, щоб їх розтягти, зламати, розірвати, потрібно докласти зусиль. Причина криється у *притяганні молекул*. Саме завдяки міжмолекулярному притяганню тверді тіла зберігають свою форму, рідина збирається в краплини (рис. 2.7), клей прилипає до паперу, розтягнута пружина набуває вихідної форми.

Якщо між молекулами є притягання, то чому ж розбита чашка не стає цілою після того, як її уламки притиснуть один до одного? Річ у тім, що *міжмолекулярне притягання стає помітним тільки на дуже малих відстанях* — таких, які можна порівняти з розмірами самих частинок. Коли ми притискаємо один до одного уламки чашки, то на зазначені відстані зближується тільки дуже мала кількість молекул. А відстань між більшою їх частиною залишається такою, що молекули майже не взаємодіють.

Отже, на відстанях, які можна порівняти з розмірами молекул, між молекулами існує притягання. Чому ж тоді молекули газів, безладно рухаючись і постійно зіштовхуючись, не злипаються в одну велику грудку? Чому через деякий час після стискання гумка відновлює свою форму?

Річ у тім, що *молекули не тільки притягаються одна до одної, але й відштовхуються*. Зазвичай у рідинах і твердих тілах притягання врівноважується відштовхуванням. Але якщо стиснути рідину або тверде тіло, то відстань між молекулами зменшиться й міжмолекулярне відштовхування стане сильнішим, ніж притягання. Спробуйте стиснути, наприклад, пластикову пляшку, доверху заповнену водою, або монетку, і відчуєте, що міжмолекулярне відштовхування є дуже великим.

7 Формулюємо основні положення молекулярної теорії

Понад 25 століть тому давньогрецький філософ Демокріт (бл. 460–370 рр. до н. е.) висловив ідею, що всі тіла складаються з маленьких тілець (учений назвав їх атоми — у перекладі з грецької це слово означає «неподільний»). А от підтвердження існування так званих атомів і молекул було отримане тільки в XIX ст. Саме тоді з'явилася й отримала дослідницьке обґрунтування **молекулярно-кінетична теорія**, яка розглядала будову речовини з точки зору таких *трьох основних положень*.

1. Усі речовини складаються з частинок — молекул, атомів, йонів; між частинками є проміжки.
2. Частинки речовини перебувають у безперервному безладному (хаотичному) русі; такий рух називають тепловим.
3. Частинки взаємодіють одна з одною (притягуються та відштовхуються).



Підбиваємо підсумки

Усі речовини складаються з дрібних частинок — молекул, атомів, йонів. Між частинками існують проміжки.

Частинки, з яких складається речовина, перебувають у безперервному хаотичному русі. Такий рух називають тепловим. Збільшення (зменшення) температури речовини спричиняє збільшення (зменшення) середньої швидкості руху її частинок. Одним із доказів руху молекул (атомів, йонів) є дифузія. Дифузія — процес взаємного перемішування речовин, який відбувається внаслідок теплового руху молекул.

Частинки речовини взаємодіють між собою: вони притягуються та відштовхуються. Взаємодія частинок виявляється на відстанях, які можна порівняти з розмірами самих молекул, атомів, йонів.



Контрольні запитання

1. Скільки видів атомів відомі науці?
2. Чим пояснюється той факт, що існують мільйони різних речовин?
3. Що ви знаєте про розмір атомів і молекул?
4. Як можна довести, що між частинками речовини існують проміжки?
5. Що називають тепловим рухом?
6. Дайте визначення дифузії.
7. Наведіть приклади дифузії.
8. Чому тверді тіла та рідини не розпадаються на окремі частинки?
9. За яких умов притягання між молекулами (атомами, йонами) стає помітним?



Вправа № 2

1. У дві склянки з водою одночасно опустили по однаковому шматочку цукру (див. рисунок). У якій склянці початкова температура води була вищою? Обґрунтуйте свою відповідь.
2. Чи можемо ми змінити об'єм тіла, не змінюючи кількості молекул у ньому? Якщо так, то як це зробити?
3. Чому для того, щоб розірвати нитку, потрібно докласти зусиль?
4. Чи можна, на вашу думку, наведене нижче твердження вважати істинним? Відповідь обґрунтуйте.
Із двох уламків лінійки неможливо без сторонніх засобів отримати єдине ціле, оскільки між молекулами лінійки діють сили відштовхування.
5. Подайте у стандартному вигляді числа: 10 000 000; 0,000 001; 5000; 0,000 003.
6. Обчисліть, скільки приблизно молекул можна розмістити вздовж відрізка завдовжки 0,5 мм. Вважайте, що діаметр молекули дорівнює 0,000 000 0001 м.
7. Площа плівки, утвореної на поверхні води краплею олії об'ємом 0,005 мм³, не може перевищувати 50 см². Який висновок щодо розміру молекул олії випливає з цього факту?



8. Згадайте та опишіть по два приклади спостережень і експериментів, які ви проводили у 5 або 6 класі. У чому, на вашу думку, полягає головна відмінність між спостереженням і експериментом?



Експериментальне завдання

1. Розчиніть дрібку фарби у воді, налитій у прозору посудину. Відлийте трохи забарвленої води в іншу посудину та долийте туди чистої води. Порівняйте забарвлення розчину в першій і другій посудинах. Поясніть результат.
2. Візьміть дві неглибокі тарілки. В одну налейте тонким шаром холодну воду, в другу — гарячу. За допомогою піпетки помістіть у центр кожної тарілки кілька крапель міцно завареного чаю. Поясніть результат.
3. Використовуючи м'яку пружинку (або тонку гумову стрічку), чисту металеву (або скляну) пластинку та блюдце з водою, продемонструйте, що між молекулами води і металу (скла) існують сили притягання. Опишіть свої дії або проілюструйте їх схематичними рисунками, або зробіть фотографію пристрою.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

§ 3. НАУКОВІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ПРИРОДИ

Кожен з вас щоденно досліджує навколишній світ і одержує нові знання. Наприклад, ви самостійно і вже давно встановили, що ложка, якщо її випустити з рук, обов'язково падає вниз, полум'я багаття піднімається вгору, сонячні промені нагрівають землю, а крижинка на долоні її холодить. А як одержують наукові знання вчені? Як вони проводять наукові дослідження?

1 Дізнаємося, що таке фізичне дослідження, та встановлюємо відмінності між спостереженнями й експериментами

Фізичне дослідження — це цілеспрямоване отримання нових знань про фізичні тіла або явища.

Зазвичай фізичне дослідження починається зі *спостереження*, коли дослідник спостерігає за явищем, не втручаючись у його перебіг.

Якщо *результати* спостережень *повторюються*, то дослідник робить *висновки*. Наприклад, у ході спостережень можна встановити, що кожної зими вода в річках, ставках і озерах нашої країни вкривається кригою. На основі зазначеного результату спостережень можна зробити висновок: унаслідок сильного охолодження (до мінусової температури) вода в річках, ставках і озерах перетворюється на лід.

Однак далеко не завжди висновки, одержані за допомогою спостережень, є істинними. Розгляньте, наприклад, відрізки на [рис. 3.1](#). Червоний відрізок

здається меншим, ніж синій. Якщо ж виміряти довжину відрізків лінійкою, то виявиться, що їхні довжини є абсолютно однаковими.

Щоб не робити подібних хибних висновків, учені проводять експерименти (досліди).

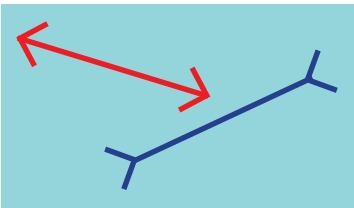


Рис. 3.1. Довжина обох відрізків однакова. У цьому легко переконатися за допомогою лінійки

Експеримент (дослід) — це дослідження фізичного явища в умовах, які перебувають під контролем науковця ([рис. 3.2](#)).

Експерименти зазвичай супроводжуються *вимірюваннями*.

Коли науковці проводять серію експериментів, спрямованих на вивчення певного фізичного явища, йдеться про *експериментальне дослідження*. Найпростіший вид експериментального дослідження — *лабораторну роботу* — ви виконуватимете через декілька уроків самостійно.

2 Визначаємо основні етапи фізичних досліджень

Спочатку дослідник аналізує побачене під час спостережень, а потім **висуває гіпотезу** — робить припущення про те, як відбуватиметься досліджуване явище в інших умовах. Наприклад, згадаємо результати спостереження стану води в річках та озерах узимку. За результатами цих спостережень можна висунути гіпотезу: після охолодження до температури, нижчої за нуль, вода завжди (не тільки в річках та озерах і не тільки взимку) перетворюється на лід.

Далі дослідник **проводить експеримент (дослідження)**, за допомогою якого перевіряє гіпотезу. Тож, помістивши воду в аналогічні умови, але контрольовані, маємо можливість перевірити гіпотезу щодо перетворення води на лід. Воду можна помістити, наприклад, у морозильну камеру холодильника, всередині якої температура нижча за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Справді, через деякий час вода в камері перетвориться на лід.

Завдяки гіпотезі та її експериментальній перевірці дослідник отримує нове знання. Ми теж отримали **нове знання**: за температури, нижчої, ніж $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, вода завжди перетворюється на лід*.

Проведення описаного експерименту не потребує багато часу, але інколи пошуки істини тривають століттями. Наведемо приклад.

Із повсякденного досвіду філософи Стародавньої Греції зробили висновок, що важчі предмети падають на землю швидше, ніж легкі. І тільки через майже дві тисячі років італійський учений *Галілео Галілей* (1564–1642) засумнівався в правильності висновків стародавніх греків. Галілей висунув гіпотезу про те, що швидкість падіння тіл не залежить від їх маси, а повільніше падіння легкого тіла пояснюється опором повітря.

Для підтвердження своєї здогадки учений провів дослідження, використавши для цього відому Пізанську вежу (рис. 3.3). З вершини



Рис. 3.2. Учені проводять експерименти (досліди) у спеціально обладнаних приміщеннях — фізичних лабораторіях



Рис. 3.3. Пізанська вежа, на якій Г. Галілей проводив свої експерименти

* Отриманий висновок справджується для води за нормального атмосферного тиску, оскільки експеримент був проведений саме за цих умов. Детальніше про атмосферний тиск ви дізнаєтесь у § 28 цього підручника, а про особливості поведінки води за тиску, який значно відрізняється від нормального атмосферного, — в ході вивчення курсу фізики 8 класу.

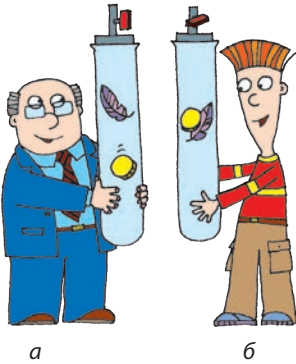


Рис. 3.4. І. Ньютон помістив золоту монету і пашине перо у скляну трубку та розташував цю трубку вертикально, даючи тілам можливість почати падіння одночасно. Через опір повітря перо «безнадійно відстало» (а). Потім учений викачав повітря з трубки та повторив експеримент — тіла досягли дна трубки одночасно (б)

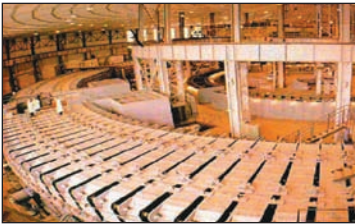


Рис. 3.5. Гігантські прискорювачі заряджених частинок застосовують для вивчення структури речовини



Рис. 3.6. Етапи пізнання у фізичних дослідженнях

цієї споруди він кидав предмети (мушкетну кулю й гарматне ядро), на рух яких опір повітря впливає незначно. Результати експериментів підтвердили гіпотезу вченого: обидва предмети досягали землі практично одночасно.

Більш точні експерименти (рис. 3.4) здійснив видатний англійський учений *Ісаак Ньютон* (1642–1727). Проте Ньютон не обмежився підтвердженням висновків Галілея. Проаналізувавши одержані дані та зробивши необхідні обчислення, тобто провівши *теоретичні дослідження*, учений припустив, що падіння предметів на поверхню землі та обертання планет Сонячної системи навколо Сонця підкорюються одному закону. Щоб обґрунтувати це твердження, Ньютон знову звернувся до математики. У результаті вчений відкрив закон всесвітнього тяжіння — створив *нове знання*.

З часів Галілея і Ньютонів основними методами отримання нових знань стали *експериментальний* і *теоретичний*. Сучасні експериментальні дослідження неможливо уявити без спеціально сконструйованих складних приладів (рис. 3.5). У розробленні нових теорій беруть участь сотні вчених, для теоретичних розрахунків застосовують надпотужні комп'ютери.

Однак і в наші дні основні етапи отримання нових знань (знання — спостереження — гіпотеза — експеримент — нове знання) залишаються незмінними. Послідовність етапів фізичних досліджень можна уявити у вигляді спіралі, яка складається з повторюваних елементів (рис. 3.6).

3 Знайомимося з фізичною моделлю

Будь-яке явище є доволі складним. На рис. 3.7 ви бачите фото скляної кулі, що котиться, та перелік деяких явищ, які супроводжують це кочення. Зрозуміло, що одночасно дослідити всі ці явища дуже важко.

Що роблять фізики перед тим, як проводити теоретичне дослідження певного явища? Створюють *фізичну модель*. Спочатку вони визначають невелику кількість основних властивостей досліджуваного тіла, які суттєво впливають на хід явища. А далі уявляють собі



Рис. 3.7. Просте явище — кочення скляної кулі — супроводжується механічними, тепловими, електромагнітними, оптичними явищами. Чи слід ураховувати всі ці явища, визначаючи, наприклад, час кочення кулі?

фізичну модель — спрощений аналог досліджуваного тіла, що має тільки ці властивості. Якщо треба дізнатися про явище більше, ускладнюють модель, додаючи певні властивості.

Наприклад, на кочення скляної кулі не впливають заломлення світла в кулі, зміна температури кулі, а також незначна деформація кулі. Тому під час дослідження кочення кулі можна враховувати тільки її масу, форму та розміри.

Вивчаючи фізику, ви обов'язково здійснюватимете теоретичні дослідження й ознайомитеся з різними фізичними моделями, такими як матеріальна точка, математичний маятник, планетарна модель атома, крапельна модель ядра та ін.



Підбиваємо підсумки

Основні методи здобуття нових знань — експериментальний і теоретичний. На певному етапі вчені мають певні знання. За допомогою спостережень і роздумів вони переконуються в необхідності вдосконалення цих знань, проводять теоретичні дослідження, висувають гіпотезу та підтверджують (або спростовують) її шляхом експериментальної перевірки. Результатом стає нове знання.

Теоретичні дослідження проводять не з конкретним фізичним тілом, а з його ідеалізованим аналогом — фізичною моделлю, яка має враховувати певну кількість основних властивостей досліджуваного тіла.



Контрольні запитання

1. Що таке спостереження? **2.** Наведіть приклади фізичних явищ, знання про які ви здобули в результаті власних спостережень. **3.** Чим дослід відрізняється від спостереження? **4.** Хто і як підтвердив гіпотезу Г. Галілея про те, що повільніше падіння більш легкого тіла пояснюється опором повітря? **5.** Назвіть основні методи отримання нових знань у фізичних дослідженнях. Наведіть приклади. **6.** Які етапи проходять учені, здійснюючи фізичні дослідження?



Вправа № 3

1. Перебуваючи на Місяці, де відсутнє повітря, астронавт Девід Скотт узяв до рук, а потім одночасно відпустив молоток і пащине перо. Дослід якого вченого повторив астронавт? Який результат він отримав?
2. Який круг з поданих на рисунок є більшим — той, що оточений маленькими кругами, чи той, що оточений великими? Яким методом фізичного пізнання можна скористатися, щоб отримати відповідь?
 
3. У науці розрізняють такі поняття: 1) явище, яке спостерігається повсякденно; 2) експериментальний факт; 3) гіпотеза. Визначте, до якого з вищеназваних понять належать подані нижче твердження.
 - а) За відсутності повітря всі тіла падають з однакової висоти за той самий час.
 - б) Імовірно, різниця у швидкості падіння тіл різної маси пояснюється опором повітря.
 - в) Тіло, випущене з рук, падає.
4. Щоб зменшити шкідливий вплив вихлопних газів на довкілля, вчені здійснили певні розрахунки та запропонували склад нового палива для двигуна автомобіля. Щоб дізнатися, якою при цьому буде тяга двигуна, його розмістили на випробувальному стенді та за допомогою відповідних приладів виміряли силу тяги. У якому випадку вчені виконали експериментальне дослідження, а в якому — теоретичне? Відповідь обґрунтуйте.
5. Назвіть щонайменше шість приладів, якими ви користувалися на уроках математики, природознавства та в повсякденному житті. Яку величину ви вимірювали за допомогою кожного з цих приладів? У яких одиницях отримували результат?



Експериментальні завдання

1. Поспостерігайте яке-небудь фізичне явище та опишіть його за планом, поданим на першому форзаці підручника (використовуйте тільки пункти 1, 2, 4).
2. Візьміть кілька однакових аркушів паперу та надайте їм, окрім одного, різної форми (складіть удвоє, зімніть тощо). Висуньте гіпотезу щодо швидкості падіння кожного з одержаних тіл. Перевірте свою гіпотезу експериментально. Поясніть результати експерименту.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

Фізика і техніка в Україні



Перший президент Академії наук України **Володимир Іванович Вернадський** (1863–1945) був одним із останніх природознавців — ученим, який зробив вагомий внесок одразу в декілька наукових напрямів. Понад те, академік В. І. Вернадський не лише розвивав відомі наукові напрями, але й став фундатором кількох нових наук, наприклад біогеохімії.

Сьогодні багато відомих міжнародних організацій у своїх прогнозах розвитку людства базуються на концепції безперервного розвитку суспільства, яка є продовженням ідей В. І. Вернадського. Суть цієї концепції полягає в тому, щоб від покоління до покоління не падали якість і безпека життя людей, не погіршувався стан навколишнього середовища, щоб відбувався соціальний прогрес.

§ 4. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Як ви вважаєте, наскільки часто люди виконують вимірювання? Наскільки важливо вміти це робити правильно? Яких наслідків слід очікувати, якщо результати вимірювань будуть хибними? Щоб допомогти вам відповісти на ці запитання, нагадаємо кілька приладів, якими ви та ваша родина користуєтесь майже щоденно: годинник, ваги, термометр, спідометр, манометр...

Сподіваємось, що ви переконалися в необхідності ретельно вивчити цей параграф!

1 Визначаємо поняття «фізична величина»

Поміркуйте, як ви розумієте народне прислів'я «Без міри й личака не сплетеш».

Люди здавна для описування яких-небудь явищ або властивостей тіл використовують їхні характеристики. Наприклад, коли ми говоримо, що тенісна кулька менша за повітряну, то маємо на увазі, що *об'єм* тенісної кульки менший за об'єм повітряної кульки. Об'єм — приклад *фізичної величини*. Ця величина характеризує *загальну властивість* тіл займати певну частину простору (рис. 4.1, а). Зрозуміло, що об'єми тіл можуть суттєво різнитися. Ще одним прикладом фізичної величини може слугувати вже відоме вам поняття *швидкість руху*, яке характеризує рух тіл (рис. 4.1, б, в).

Фізична величина — це кількісно виражена характеристика тіла або фізичного явища.

Неважко здогадатися, що об'єм і швидкість руху — це далеко не всі фізичні величини, якими оперує фізика. Навіть у повсякденному житті ми маємо справу з великою кількістю фізичних величин: довжина, площа, об'єм, маса, час, шлях, температура.

Для зручності кожну фізичну величину позначають певним символом (буквою латинського або грецького алфавіту). Наприклад, об'єм позначають символом V , час — символом t , швидкість руху — символом v .

2 Дізнаємося про Міжнародну систему одиниць

У романі Жуль Верна «П'ятнадцятирічний капітан» є такий епізод: «Пройшовши кроків триста берегом річки, маленький загін ступив під



Рис. 4.1. Для характеристики властивості тіл займати ту чи іншу частину простору використовують фізичну величину об'єм (а); для характеристики руху тіл — швидкість (б, в)

склепіння дрімучого лісу, звивистими стежками якого їм треба було мандрувати...».

Проаналізуємо цей уривок і з'ясуємо, яку фізичну величину мав на увазі автор, чому дорівнює числове значення цієї величини та яку одиницю було обрано за одиницю зазначеної величини. Незавжди встановити, що йдеться про фізичну величину *шлях*, *числове значення* якої становить *триста*, а *одиницею шляху* слугує *один крок*.

Очевидно, що вибір кроку за одиницю шляху не є вдалим, оскільки не дозволяє порівнювати результати вимірювань, одержані різними людьми, адже довжина кроку в усіх є різною (рис. 4.2). Тому люди здавна почали домовлятися про те, щоб вимірювати ту саму фізичну величину однаковими одиницями. Зараз у більшості країн світу діє запроваджена в 1960 р. Міжнародна система одиниць, яку називають *Система Інтернаціональна (СІ)* (рис. 4.3).



Рис. 4.2. Коли бабуся й онук вимірюватимуть відстань у кроках, то вони завжди отримуватимуть різні результати



Рис. 4.3. Основні одиниці Міжнародної системи одиниць (СІ)

У СІ одиницею довжини є метр (м), одиницею часу — секунда (с), об'єм вимірюється в метрах кубічних (м^3), швидкість руху — у метрах на секунду (м/с). Про інші одиниці СІ ви дізнаєтеся пізніше.

Записуючи значення фізичної величини, треба навести символ, яким вона позначається, числове значення фізичної величини та її одиницю. Наприклад, запис $v = 5 \text{ м/с}$ означає, що швидкість руху деякого тіла становить 5 метрів на секунду.

3 З'ясуємо, чим кратні одиниці відрізняються від частинних

Для зручності запису великих і малих значень фізичних величин використовують кратні та частинні одиниці.

Кратні одиниці — це одиниці, які більші за основні одиниці в 10, 100, 1000 і більше разів.

Частинні одиниці — це одиниці, які менші від основних одиниць у 10, 100, 1000 і більше разів.

Для запису кратних і частинних одиниць використовують префікси. Наприклад, кілометр (1000 м) — кратна одиниця довжини; сантиметр (0,01 м) — частинна одиниця довжини. У таблиці наведено найуживаніші префікси.

Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць

Префікс	Значення в перекладі з грецької або латинської мови	Символ	Множник	
тера-	чудовисько	Т	1 000 000 000 000	10^{12}
гіга-	гігантський	Г	1 000 000 000	10^9
мега-	великий	М	1 000 000	10^6
кіло-	тисяча	к	1000	10^3
гекто-	сто	г	100	10^2
деци-	десять	дц	0,1	10^{-1}
санти-	сто	с	0,01	10^{-2}
мілі-	тисяча	м	0,001	10^{-3}
мікро-	малий	мк	0,000001	10^{-6}
нано-	карлик	н	0,000000001	10^{-9}

4 Визначаємо, чим відрізняються прямі і непрямі вимірювання

Значення фізичних величин одержують шляхом *вимірювань*.

Згадайте приклад вимірювання, наведений у п. 2 цього параграфу. Автор роману, описуючи подорож загалом берегом річки, за одиницю шляху обрав крок. Щоб подати числове значення (триста) шляху в кроках, йому необхідно було порівняти пройдену відстань з довжиною кроку.

Виміряти фізичну величину означає порівняти її з однорідною величиною, прийнятою за одиницю.

Існують два види вимірювань: *прямі* і *непрямі* вимірювання.

У разі *прямого вимірювання* шукане значення фізичної величини отримують відразу (рис. 4.4–4.7).



Рис. 4.4. «Вдягайся тепліше, сьогодні на вулиці холодно», — дбає про вас бабуся після вимірювання температури на вулиці



Рис. 4.5. «Я купила кілограм яблук», — розповідає мама про вимірювання маси на базарі



Рис. 4.6. «У мене знову підвищився тиск», — скаржиться жінка після вимірювання кров'яного тиску



Рис. 4.7. «До відправлення потяга залишилося 2 хвилини» — цей інтервал часу ви з хвилюванням визначаєте за допомогою годинника

Під час *непрямого вимірювання* значення фізичної величини визначають як результат обчислення за певною формулою після підставлення в цю формулу значень інших фізичних величин, що отримані в ході прямих вимірювань. Так, щоб визначити площу S прямокутника, спочатку за допомогою лінійки вимірюють (прямі вимірювання) його довжину l і ширину d , а потім обчислюють за формулою $S = l \cdot d$.

4 Знайомимося з мірами та вимірювальними приладами

Для відтворення певних значень фізичних величин слугують *міри* (наприклад, важки, які використовують разом із терезами).

Для встановлення значень фізичних величин у ході прямих вимірювань використовують *вимірювальні прилади* (рис. 4.8).

Зараз у науці, техніці та повсякденному житті застосовують як *електронні цифрові вимірювальні прилади*, у яких значення вимірюваної величини відразу висвітлюється на екрані, так і вимірювальні прилади, під час користування якими значення вимірюваної величини користувач визначає за шкалою. Вимірювальний прилад містить інформацію щодо одиниць, у яких подається значення вимірюваної цим приладом величини.



Рис. 4.8. Вимірювальні прилади



Рис. 4.9. Медичний термометр

За шкалою можна встановити дві найважливіші характеристики вимірювального приладу: межі вимірювання та ціну поділки шкали приладу*.

Межі вимірювання приладу — це найбільше та найменше значення фізичної величини, які можна виміряти цим приладом.

Наприклад, верхня межа вимірювань медичного термометра (рис. 4.9) дорівнює $42\text{ }^{\circ}\text{C}$, нижня становить $34\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ціна поділки шкали вимірювального приладу — це значення найменшої поділки шкали цього приладу.

У курсі природознавства ви вже вчилися визначати ціну поділки шкали вимірювального приладу. Нагадаємо.

Щоб визначити ціну поділки шкали приладу, необхідно різницю двох будь-яких найближчих значень величини, наведених на шкалі, поділити на кількість поділок між ними.

Визначимо ціну поділки шкали медичного термометра, зображеного на рис. 4.9. Для цього:

1) оберемо два значення температури, які наведені на шкалі, наприклад, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $39\text{ }^{\circ}\text{C}$, і знайдемо їхню різницю: $40\text{ }^{\circ}\text{C} - 39\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2) визначимо кількість поділок між рисками, біля яких вказані ці значення, — 10 поділок;

3) отриману різницю поділимо на кількість поділок: $\frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отже, ціна поділки шкали взятого термометра становить $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$C_{\text{терм}} = \frac{40\text{ }^{\circ}\text{C} - 39\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = \frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{10} = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}.$$



Підбиваємо підсумки

Фізична величина — це кількісно виражена характеристика тіла або фізичного явища. Виміряти фізичну величину — це означає порівняти її з однорідною величиною, прийнятою за одиницю.

У результаті прямих вимірювань за допомогою вимірювальних приладів ми одержуємо значення фізичних величин. Записуючи значення фізичної величини, треба навести символ, яким вона позначається, числове значення фізичної величини та її одиницю. Для зручності записів великих і малих значень фізичних величин використовують кратні та частинні одиниці. Для запису кратних і частинних одиниць використовують спеціальні префікси.

* Межі вимірювання в електронних цифрових приладах визначають за паспортом приладу або встановлюють спеціальним перемикачем на панелі приладу.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення фізичної величини. 2. Наведіть приклади фізичних величин. Які властивості тіл або які фізичні явища вони характеризують? 3. Яким символом позначають об'єм тіла? швидкість руху тіла? час руху тіла? 4. Що означає виміряти фізичну величину? 5. Наведіть приклади префіксів, які використовують для утворення частинних одиниць; кратних одиниць. 6. Наведіть приклади мір та вимірювальних приладів. 7. Які характеристики приладу можна визначити за допомогою шкали цього приладу? 8. Що називають ціною поділки шкали приладу?



Вправа № 4

1. Подайте в метрах такі значення фізичних величин: 145 мм; 1,5 км; 2 км 32 м.
2. Назвіть фізичні величини, прилади для вимірювання яких зображені на [рис. 1](#). Наведіть символи для позначення цих величин, а також їх одиниці в СІ.



Рис. 1

3. Визначте межі вимірювання та ціну поділки шкали приладу, зображеного на [рис. 2](#).



Рис. 2

4. На [рис. 4.8](#) зображено деякі вимірювальні прилади. Чи можна, використовуючи тільки рисунок, визначити ціну поділки шкал цих приладів? Обґрунтуйте свою відповідь.
5. Запишіть за допомогою кратних або частинних одиниць такі значення фізичних величин: 0,000 007 5 м — діаметр червоних кров'яних тілець; 5 900 000 000 000 м — радіус орбіти планети-карлика Плутона; 6 400 000 м — радіус планети Земля.
6. Баскетбольний майданчик, на якому проводять офіційні змагання, повинен мати довжину 28 м і ширину 15 м. Визначте площу баскетбольного майданчика. Відповідь подайте також у дм^2 і см^2 .
7. Згадайте визначення фізичної величини та доведіть, що довжина — це фізична величина.



Експериментальні завдання

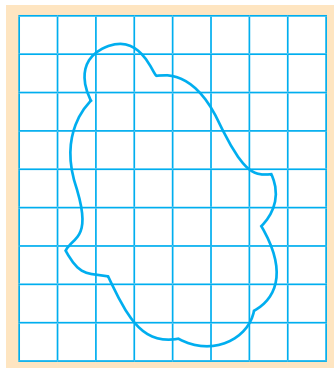
1. Знайдіть у себе вдома 2–3 вимірювальні прилади, що мають шкалу. Визначте межі вимірювання та ціну поділки шкали кожного приладу.
2. Скориставшись наведеною нижче інформацією, визначте площу вашої долоні. Площу фігури, яка має неправильну геометричну форму, можна визначити за контуром цієї фігури на папері в клітинку або за допомогою палетки*. У такому випадку площу фігури обчислюють за формулою:

$$S = \left(n + \frac{1}{2}k \right) C,$$

де n — кількість цілих квадратів, k — кількість нецілих квадратів, C — площа одного квадрата. Наприклад, площа фігури на рисунок дорівнює:

$$S = \left(17 + \frac{1}{2} \cdot 22 \right) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 700 \text{ мм}^2.$$

3. Свого часу давньогрецький математик, фізик і механік Архімед запропонував спосіб вимірювання площі фігури, яка має неправильну геометричну форму, за допомогою точних терезів. Спробуйте відновити цей спосіб і пояснити його.



Фізика і техніка в Україні



Національна академія наук України (НАНУ) — найвища державна наукова організація України. Академію заснував 27 листопада 1918 р. уряд гетьмана П. П. Скоропадського. Першим президентом і засновником Української академії наук був *Володимир Іванович Вернадський*. НАНУ займається дослідженнями в галузях природничих, гуманітарних, суспільних і технічних наук.

Найбільші досягнення Академії в 1930–1940-х рр.: здійснення штучної ядерної реакції; створення прискорювача заряджених частинок, нового типу радіолокатора; впровадження технології автоматичного зварювання корпусів танків і артилерійських систем; створення нових лікарських препаратів і методів лікування поранених.

У 1950 р. в Інституті електротехніки АН УРСР було розроблено першу в Європі універсальну електронну обчислювану машину (ЕОМ). У 1960 р. за допомогою ЕОМ «Київ» в Інституті ядерних досліджень (місто Дубна Московської обл.) уперше у світі проводилися експерименти з дистанційного керування технологічними процесами.

У різний час в Академії працювали багато видатних учених, сформувалося чимало наукових шкіл. Так, в усьому світі відомі українські школи електрозварювання Є. О. Патона і кібернетики В. М. Глушкова.

* *Палетка* (від фр. *palette* — пластинка) — прозора пластинка з нанесеною на ній сіткою квадратів певної площі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Визначення ціни поділки шкали вимірювального приладу.

Мета: визначити межі вимірювання та ціну поділки шкали різних вимірювальних приладів.

Обладнання: лінійка, термометр та інші вимірювальні прилади.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.

- 1) Що називають вимірювальним приладом?
- 2) Як визначити межі вимірювання шкали приладу?
- 3) Що таке ціна поділки шкали?
- 4) Як визначити ціну поділки шкали?
- 5) Яких правил безпеки слід дотримуватися, працюючи з термометром?

▶ Експеримент

1. Розгляньте шкали наявних у вас вимірювальних приладів.
2. Заповніть таблицю (усі стовпчики, крім останнього).

▶▶ Опрацювання результатів експерименту

Визначте ціну поділки шкали кожного з досліджуваних приладів і закінчіть заповнення таблиці.

Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця вимірюваної величини	Блок позначок шкали				
			Межі вимірювання		Числа, якими позначені дві сусідні риски	Кількість поділок між сусідніми рисками, позначеними числами	Ціна поділки шкали
			нижня	верхня			

□ Аналіз експерименту та його результатів

Сформулюйте висновок, у якому зазначте, що саме ви визначали, які результати одержали, для чого можуть знадобитися навички, набуті в ході виконання роботи.



Творче завдання

Виготовте мірну стрічку із ціною поділки 5 мм.

§ 5. ПОХИБКИ Й ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Визначте площу поверхні аркуша зошита за допомогою лінійки. Потім запропонуйте вашому сусідові або сусідці зробити те саме за допомогою цієї ж лінійки. Зіставте отримані результати. Якщо результати виявляться різними, то чий результат слід вважати більш точним? Чи можна вважати результати вимірювань абсолютно точними? Спробуємо знайти відповіді на ці запитання.

1 Проводимо вимірювання

Ви багато разів здійснювали вимірювання довжини. А чи правильно ви це робили? Перевіримо, вимірюючи довжину олівця за допомогою лінійки. Для цього:

— прикладемо лінійку до олівця так, щоб нуль на шкалі лінійки збігався з одним кінцем олівця (рис. 5.1);

— визначимо, навпроти якої позначки шкали лінійки розташований другий кінець олівця.

Бачимо, що другий кінець олівця розташований біля позначки 12 см, тобто можна сказати, що довжина олівця становить приблизно 12 см. Однак кінець олівця виступає за позначку 12 см трохи більше ніж на 2 міліметри, отже, точніша довжина олівця — 12,2 см, або 122 мм.

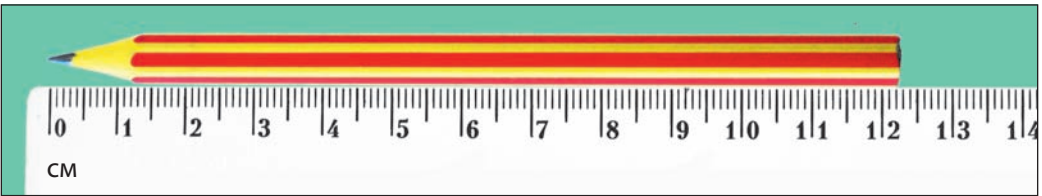


Рис. 5.1. Вимірювання довжини олівця лінійкою

2 Міркуємо про точність вимірювань

Вимірюючи довжину олівця, ми отримали два результати: 12 см і 12,2 см. Який з них є правильним? Узагалі правильними є обидва значення, а от точність вимірювань різна: у першому випадку ми виконали вимірювання з точністю до 1 см, а в другому — з точністю до 0,1 см. Для нашого експерименту це цілком задовільна точність.

Якщо ж під час вимірювання довжини потрібен більш точний результат, треба використати вимірювальні прилади, які мають меншу ціну поділки — 0,5 мм або навіть 0,1 мм. Але й тоді ми не виміряємо довжину абсолютно точно. Причин для цього чимало: це і недосконалість конструкції приладу, і недосконалість методу вимірювання (наприклад, початок олівця неможливо абсолютно точно сумістити з нульовою поділкою шкали лінійки), і вплив зовнішніх чинників. Тому під час експериментальних досліджень вимірювання здійснюються з певною *похибкою*. Щоб зменшити похибку, вимірювання можна, наприклад, виконати кілька разів,

а потім обчислити середнє значення результатів вимірювання (знайти їх середнє арифметичне).

3 Учимся записувати результати вимірювання

Щоб правильно записати результат вимірювання, треба з'ясувати, як урахувати похибку результату вимірювання. Зазначимо, що похибки поділяються на *абсолютні* та *відносні*.

Похибка, яка дорівнює модулю різниці між істинним і вимірним значеннями фізичної величини, називається **абсолютною похибкою результату вимірювань**.

Визначити абсолютну похибку результату вимірювань непросто. Потрібен аналіз методу вимірювання, якості вимірювального приладу, умов досліду, знання вищої математики тощо. Тому поки що домовимось: *під час одного прямого вимірювання абсолютна похибка дорівнюватиме ціні поділки шкали вимірювального приладу*.

Абсолютна похибка виражається в одиницях вимірюваної величини.

Щоб записати значення абсолютної похибки, використовують символ Δ (дельта), поряд з яким наводять символ вимірюваної фізичної величини. Наприклад, запис $\Delta V = 2 \text{ см}^3$ означає, що абсолютна похибка результату вимірювання об'єму становить 2 кубічні сантиметри.

Повернемося до вимірювання довжини l олівця (див. [рис. 5.1](#)).

1. Ціна поділки шкали лінійки — 1 мм. Отже, вважаємо, що абсолютна похибка результату вимірювання становить 1 мм ($\Delta l = 1 \text{ мм}$).

2. Довжина l_0 олівця, виміряна лінійкою, дорівнює 122 мм ($l_0 = 122 \text{ мм}$).

3. Результат вимірювання в цьому випадку слід записати так: $l = (122 \pm 1) \text{ мм}$. Такий запис означає, що істинне значення довжини олівця перебуває в інтервалі від 121 мм (122 мм – 1 мм) до 123 мм (122 мм + 1 мм) ([рис. 5.2](#)).

4 Визначаємо відносну похибку результату вимірювання

З'ясуємо тепер, що ж таке відносна похибка. Виміряємо товщину олівця ([рис. 5.3](#)). Маємо результат — 7 мм. Це майже в 15 разів менше за довжину олівця (122 мм). При цьому абсолютна похибка однакова — 1 мм. Однак це не означає, що ми з однаковою точністю виміряли довжину і товщину олівця.

Наскільки точно проведено вимірювання, наочніше показує відносна похибка.

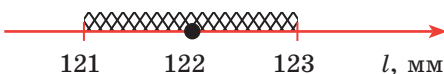


Рис. 5.2. Абсолютна похибка вимірювання визначає інтервал, у якому міститься істинне значення вимірюваної величини

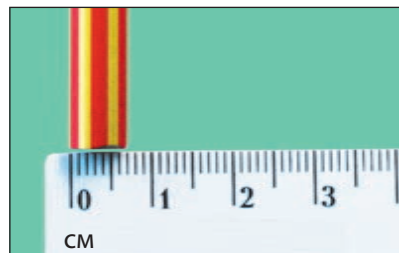


Рис. 5.3. Вимірювання товщини олівця

Відносна похибка результатів вимірювання дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини.

Відносну похибку позначають символом ε (епсилон).

Знайдемо відносну похибку результату вимірювання довжини олівця (див. рис. 5.1):

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{1 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \approx 0,008.$$

Найчастіше відносну похибку подають у відсотках: $\varepsilon = 0,008 \cdot 100 \% = 0,8 \%$.

Тепер знайдемо відносну похибку результату вимірювання товщини олівця:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \% = \frac{1 \text{ мм}}{7 \text{ мм}} \cdot 100 \% = 14,3 \%$$

Відносна похибка вимірювання довжини менша за відносну похибку вимірювання товщини майже у 18 разів. Це означає, що довжину олівця було виміряно точніше, ніж його товщину, у майже 18 разів.

5

Міркуємо про необхідну точність вимірювання

Припустимо, що замість довжини олівця нам треба виміряти довжину стіни. Зрозуміло, що в цьому випадку немає необхідності враховувати десяті частки сантиметра (рис. 5.4).

Так само, якщо кравець, викроюючи плаття, помилиться на 1 мм, ви цього навіть не помітите. А от якщо, втягуючи нитку у вушко голки, він щоразу помилятиметься на 1 мм, то навряд чи плаття взагалі коли-небудь буде виготовлене.

Таким чином, можна зробити висновок: *необхідна точність вимірювання визначається метою цього вимірювання.*



Рис. 5.4. Вимірювання довжини кімнати з точністю до 1 мм — приклад надлишкової точності



Підбиваємо підсумки

Вимірювання неможливо провести з абсолютною точністю. Похибки в ході вимірювання фізичних величин пов'язані як з процесом вимірювання, так і з вибором приладу для вимірювання.

Похибка, яка дорівнює модулю різниці між істинним і виміряним значеннями фізичної величини, називається абсолютною. Поки що вважатимемо: під час одного прямого вимірювання абсолютна похибка дорівнює ціні поділки шкали приладу. Абсолютна похибка подається в одиницях вимірюваної величини.

Відношення абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини називають відносною похибкою результату вимірювання. Зазвичай відносну похибку подають у відсотках. Чим менше відносна похибка, тим точніше вимірювання.



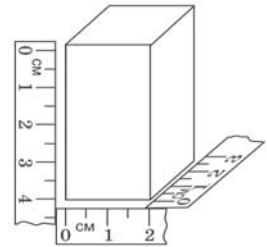
Контрольні запитання

1. Чому неможливо одержати абсолютно точне значення вимірюваної величини?
2. Як підвищити точність вимірювання?
3. Які види похибок результату вимірювання ви знаєте?
4. Як визначити відносну похибку в ході прямих вимірювань?
5. Яка похибка — абсолютна чи відносна — наочніше показує, наскільки точно проведено вимірювання? Обґрунтуйте свою відповідь.
6. Наведіть приклади доцільної і зайвої точності вимірювань.



Вправа № 5

1. Діаметр кола виміряли лінійкою з ціною поділки шкали 0,1 см і рулеткою з ціною поділки шкали 0,5 см. У якому випадку отримали точніший результат?
2. За допомогою рулетки (див. [рисунок](#)) виміряли довжину l , ширину d і висоту h бруска.
 - 1) Запишіть результати вимірювань.
 - 2) Визначте відносну похибку вимірювання кожного ребра бруска.
 - 3) Результат вимірювання якого ребра є точнішим?
3. На альбомному аркуші накресліть на око відрізки завдовжки 5 і 15 см. Виміряйте довжини цих відрізків за допомогою лінійки. Оцініть відносну похибку результату вимірювання на око.
4. Для визначення периметра класної дошки учень скористався учнівською лінійкою з ціною поділки 1 мм. Чи дорівнюватиме абсолютна похибка вимірювання периметра 1 мм? Відповідь обґрунтуйте.
5. Під час спокійних вдиху та видиху через легені дорослої людини проходить близько $0,5 \text{ дм}^3$ повітря. Скільки разів потрібно вдихнути та видихнути дорослій людині, щоб через її легені пройшло повітря, об'єм якого дорівнює 5500 см^3 ? (До речі, об'єм футбольного м'яча теж приблизно дорівнює 5500 см^3 .)
6. «Улюблене» число математиків — число «пі». Нагадаємо, що це число дорівнює відношенню довжини кола до його діаметра і виражається нескінченним дробом. Наведемо значення числа «пі» з точністю до дев'ятого знака після коми: $\pi = 3,141592653$. Округліть значення числа «пі»: а) до цілих; б) десятих; в) сотих; г) тисячних; д) десятитисячних.



Експериментальне завдання

Візьміть зошит у лінію та визначте відстань між сусідніми лініями двома способами.

Спосіб 1. Виміряйте безпосередньо відстань між сусідніми лініями.

Спосіб 2. Виміряйте відстань між верхньою і нижньою лініями. Отриманий результат поділіть на кількість проміжків між цими лініями.

З'ясуйте, який результат вимірювання є точнішим, обчисливши відповідні відносні похибки.

Фізика і техніка в Україні



Національний науковий центр «Інститут метрології» (Харків)

Метрологія — це наука про вимірювання: як їх робити, за допомогою яких приладів, як досягти необхідної точності. Без метрології сьогодні неможливі наукові дослідження і взагалі науковий прогрес. Матеріальною базою всіх сучасних вимірювань є відповідні еталони — їх має кожна розвинена держава. Більшість українських державних еталонів (близько 40 одиниць) створена та зберігається в Національному науковому центрі «Інститут метрології» в Харкові. Зокрема, це еталони довжини, маси, температури, часу, рівня радіації та ін. Так, точність сигналу «Перевірте ваші годинники», який транслюють радіостанції, перевіряють саме в Інституті метрології.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Вимірювання об'ємів твердих тіл, рідин і сипких матеріалів.

Мета: виміряти об'єми твердих тіл (правильної і неправильної форм), води та сипких матеріалів; оцінити точність результатів вимірювань.

Обладнання: мірний циліндр; лінійка; посудина з водою; три пластикові стаканчики: з водою, пшоном, річковим піском; тверде тіло неправильної форми; тверде тіло, що має форму прямокутного паралелепіпеда; нитки.

Теоретичні відомості

1. Об'єм — це фізична величина, яка характеризує властивість тіл займати ту чи іншу частину простору. Одиницею об'єму в Міжнародній системі одиниць (СІ) є кубічний метр (м^3). Існують кратні та частинні одиниці об'єму: $1 \text{ дм}^3 = 0,1 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,01 \text{ м}^3$; $1 \text{ см}^3 = 0,001 \text{ дм}^3 = 0,000 001 \text{ м}^3$. Позасистемною одиницею об'єму є літр (л): $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$.

2. Об'єми твердих тіл, рідин і сипких матеріалів можна визначити шляхом прямих вимірювань за допомогою мірного циліндра (рис. 1) або мензурки.

Для вимірювання об'єму рідини або сипкого матеріалу за допомогою мірного циліндра необхідно:

а) перелити рідину або висипати сипкий матеріал у мірну посудину: вони набудуть форми посудини, а їхня вільна поверхня розташується на певній висоті (необхідно домогтися, щоб вільна поверхня рідини або сипкого матеріалу була горизонтальною);

б) визначити, навпроти якої позначки шкали розташована поверхня стовпа рідини (рис. 2) або сипкого матеріалу;

в) знаючи ціну поділки шкали, з'ясувати об'єм рідини (або сипкого матеріалу).

Для вимірювання об'єму твердого тіла за допомогою мірної посудини необхідно:

а) налити в мірну посудину воду об'ємом V_1 , причому води слід налити стільки, щоб можна було занурити це тіло й вода не перелилася б через край посудини;

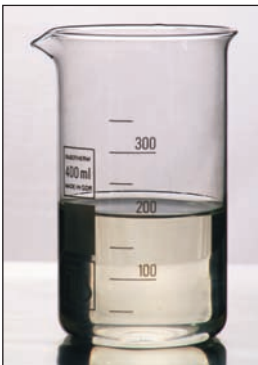


Рис. 1



Рис. 2

б) занурити у воду тіло та виміряти загальний об'єм V_2 води разом із тілом;

в) обчислити об'єм V витісненої тілом води як різницю результатів вимірювань об'єму води до і після занурення тіла: $V = V_2 - V_1$.

Об'єм V витісненої тілом води дорівнює об'єму тіла*.

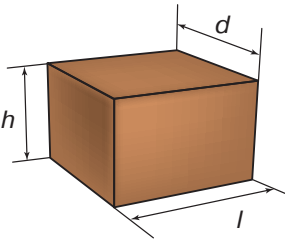


Рис. 3

3. Якщо тіло має правильну геометричну форму, то його об'єм можна визначити також шляхом непрямих вимірювань: виміряти лінійні розміри тіла за допомогою лінійки та обчислити об'єм тіла за відповідними математичними формулами. Наприклад, об'єм тіла, яке має форму прямокутного паралелепіпеда (рис. 3), обчислюється за формулою: $V = ldh$, де l — довжина тіла; d — ширина тіла; h — висота тіла.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перед тим як розпочати вимірювання, згадайте:
 - як визначити ціну поділки шкали засобу вимірювання;
 - як правильно здійснювати вимірювання за допомогою мірного циліндра;
 - яких заходів безпеки потрібно дотримуватися, працюючи зі скляним посудом;
 - як оцінити абсолютну та відносну похибки результату вимірювань.
- Визначте та запишіть ціну поділки шкали лінійки і ціну поділки шкали мірного циліндра.
- На кожному твердому тілі закріпіть нитку.

▶ Експеримент

Результати всіх вимірювань відразу заносьте до таблиць 1 і 2.

- Виміряйте об'єм рідини за допомогою мірного циліндра.
- Виміряйте об'єми сипких матеріалів за допомогою мірного циліндра.

Таблиця 1

Номер дослідів	Матеріал	Об'єм рідини або сипкого матеріалу $V_{\text{вим}}, \text{см}^3$
1	Вода	
2	Пшоно	
3	Річковий пісок	

* Цей метод вимірювання об'єму твердих тіл запропонував Архімед.

3. Виміряйте об'єм твердого тіла неправильної геометричної форми (тіло 1) шляхом прямих вимірювань (за допомогою мірного циліндра).
4. Виміряйте об'єм твердого тіла правильної геометричної форми (тіло 2) шляхом прямих вимірювань.
5. Виміряйте об'єм твердого тіла правильної геометричної форми (тіло 2) шляхом непрямих вимірювань.

Таблиця 2

Тіло	Прямі вимірювання			Непрямі вимірювання			
	Початковий об'єм води V_1 , см^3	Об'єм води та тіла V_2 , см^3	Об'єм тіла $V = V_2 - V_1$, см^3	Довжина l тіла, см	Ширина d тіла, см	Висота h тіла, см	Об'єм тіла $V = ldh$, см^3
Тіло 1				—	—	—	—
Тіло 2							

► Опрацювання результатів експерименту

Оцініть абсолютну та відносну похибки результатів вимірювань об'ємів води й сипких матеріалів. Подайте результати вимірювань у вигляді $V = V_{\text{вим}} \pm \Delta V$.

□ Аналіз експерименту та його результатів

1. Проаналізувавши різні види вимірювання об'єму твердого тіла, зазначте:
 - а) випадки, коли доцільно використовувати той чи інший вид вимірювання об'єму твердого тіла;
 - б) чинники, які вплинули на точність одержаних вами результатів.
2. Сформулюйте висновок, у якому зазначте, що саме ви навчилися вимірювати і для чого можуть бути потрібні навички, набуті в ході виконання роботи.

+ Творче завдання

Запропонуйте способи вимірювання об'єму тіла неправильної форми, якщо:

- а) тіло не вміщується в наявну мірну посудину;
- б) ви маєте кілька однакових тіл і об'єм кожного тіла є меншим, ніж ціна поділки шкали наданої вам мірної посудини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема. Вимірювання розмірів малих тіл.

Мета: визначити методом рядів діаметр горошини, діаметр пшонаного зернятка, товщину нитки; оцінити точність вимірювань.

Обладнання: лінійка, невеликі посудини із пшоном і горохом, дві зубочистки, стрижень для ручки, нитка (№ 10) завдовжки близько 50 см.

Опис методу вимірювання

Метод рядів для вимірювання розмірів тіл застосовують у тих випадках, коли ціна поділки шкали приладу не дозволяє провести вимірювання з достатньою точністю. Наприклад, коли ціна поділки шкали приладу більша або може бути порівняна з розміром, який необхідно виміряти.

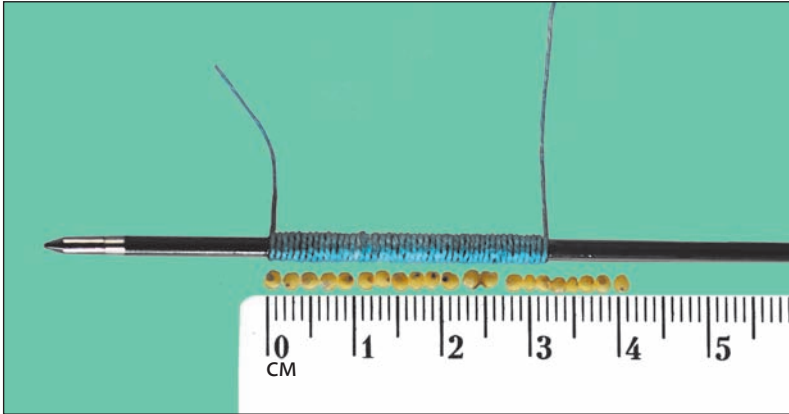
Для визначення розміру d малого тіла методом рядів* необхідно:

— утворити ряд, — наприклад, викласти зернятка впритул одне до одного або намотати нитку багато разів на стрижень для ручки таким чином, щоб витки були розташовані в один ряд і впритул один до одного (див. рисунок);

— виміряти довжину L ряду;

— порахувати кількість n тіл або витків у ряді;

— знайти відношення: $d = \frac{L}{n}$.



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

1. Уважно прочитайте опис методу вимірювання.
2. Згадайте:
 - а) як визначити ціну поділки шкали вимірювального приладу;
 - б) як правильно користуватися лінійкою та знімати її покази;

* Метод рядів дозволяє визначити лише середнє значення розміру малого тіла.

в) як оцінити абсолютну та відносну похибки результату вимірювання.

3. Визначте й запишіть ціну поділки шкали лінійки.

▶ Експеримент

Під час виконання експерименту суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. с. 2–3 форзаца підручника). Особливу увагу зверніть на пункти 4.1, 4.2 інструкції.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці. Результати вимірювань діаметрів і товщини округліть до десятих.

1. Визначте методом рядів середнє значення:

- діаметра горошини;
- діаметра пшонаного зернятка.

Для вирівнювання рядів скористайтеся зубочисткою.

2. Виміряйте методом рядів товщину нитки.

Номер досліду	Тіло	Довжина L ряду, мм	Кількість n тіл (витків) у ряді	Діаметр (товщина) $d_{\text{вим}}$, мм	Абсолютна похибка Δd , мм	Відносна похибка ε , %
1	Горошина					
2	Пшонане зернятко					
3	Нитка					

▶ Опрацювання результатів експерименту

1. Для вимірювань, які ви проводили, оцініть абсолютну похибку (зважайте, що в разі вимірювання методом рядів абсолютна похибка менша за абсолютну похибку в разі прямого вимірювання у стільки разів, скільки тіл (витків) у ряді). Округліть отримані результати до десятих і занесіть їх до таблиці.

2. Запишіть результати вимірювань у вигляді $d = d_{\text{вим}} \pm \Delta d$.

□ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: чого ви навчилися в ході виконання роботи; які результати отримали; як можна підвищити точність експерименту; для чого можуть знадобитися навички, набуті в ході виконання роботи.

+ Творче завдання

Запропонуйте свій спосіб вимірювання діаметра горошини. Виконайте відповідний рисунок. Зробіть вимірювання й оцініть його точність. Проаналізуйте переваги та недоліки методу, який використано в роботі, і методу, який запропонували ви. Зазначте випадки, коли, на вашу думку, доречно використовувати той чи інший метод.

§ 6. ТВОРЦІ ФІЗИЧНОЇ НАУКИ. ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК ФІЗИКИ

Історія фізики — це історія відкриттів, кожне з яких поглиблює наше розуміння природи. І за будь-яким відкриттям стоїть людина, а частіше група людей, чії зусилля пробивають стіну невідомості та незнання, підіймають науку на новий щабель розвитку. Саме про таких людей можна сказати: «Вони створювали фізику». Хто ж ці люди, чії імена нерозривно пов'язані з прогресом фізичної науки? У цьому параграфі ми назвемо лише деякого, але, продовжуючи вивчення курсу фізики, ви дізнаєтеся про десятки ушлявлених дослідників природи й першовідкривачів невідомого.

1 Дізнаємося про творців класичної фізики

Можна сказати, що фізику створив давньогрецький філософ *Аристотель* (рис. 6.1). Саме він одну зі своїх головних праць, у якій систематизував природничі знання свого часу, назвав «Фізика».

Не можна не згадати ще одного давньогрецького вченого — *Архімеда* (рис. 6.2). За легендою, цар міста Сиракузи Гієрон поставив перед Архімедом завдання з'ясувати вміст золота та срібла у сплаві, з якого ювелір зробив царську корону. Розв'язуючи цю задачу, Архімед знайшов спосіб визначити об'єми тіл неправильної геометричної форми, відкрив закон плавання тіл, який носить його ім'я. Архімед був видатним інженером і створив різноманітні механізми (див., наприклад, рис. 6.3). За іншою легендою, йому належить вислів: «Дайте мені точку опори, і я переверну світ».

Другий етап розвитку фізики відкривають праці *Галілео Галілея* (рис. 6.4) — великого італійського фізика й астронома, який уперше застосував у науці експериментальний метод.

Існує думка, що великі відкриття та нові закони — це результат роботи маститих учених, людей поважного віку. Насправді відкриття часто роблять зовсім молоді люди. Так, своє перше видатне відкриття Галілей зробив у 19 років. Спостерігаючи в храмі коливання лампади на ланцюзі, він виявив, що час одного коливання лампади не залежить від розмаху

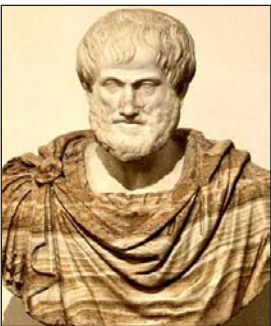


Рис. 6.1. Аристотель (384–322 рр. до н. е.)

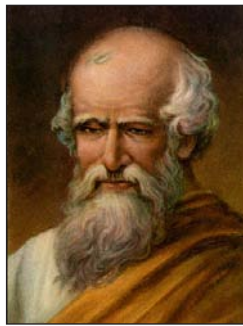


Рис. 6.2. Архімед (бл. 287–212 рр. до н. е.)



Рис. 6.3. Створені Архімедом важелі та блоки є основою для багатьох сучасних механізмів

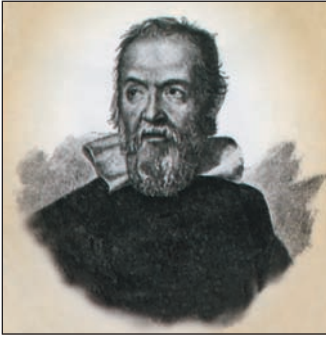


Рис. 6.4. Галілео Галілей (1564–1642)

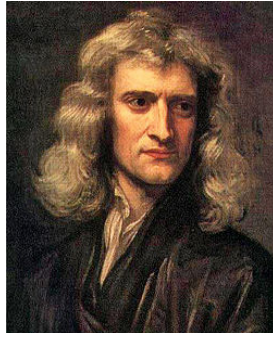


Рис. 6.5. Ісаак Ньютон (1642–1727)



Рис. 6.6. Робота всіх сучасних електричних пристроїв і приладів ґрунтується на рівняннях Дж. Максвелла (1831–1879)

коливань. Цю властивість коливань пізніше було використано в конструкції механічного годинника. У 25 років Галілей уже став професором Пізанського університету, а через короткий час вивів закони вільного падіння тіл.

Одне з найбільших відкриттів за всю історію фізики — закон всесвітнього тяжіння — геніальний англійський фізик і математик *Ісаак Ньютон* (рис. 6.5) зробив у 24 роки. Пізніше Ньютон сформулював закони руху тіл і створив, таким чином, *класичну механіку*.

Зараз важко уявити сучасну техніку без використання принципів електромагнетизму, основи якого заклав видатний англійський фізик і хімік *Майкл Фарадей* (1791–1867).

Закони електромагнетизму шотландський науковець *Джеймс Клерк Максвелл* (рис. 6.6) записав у вигляді чотирьох рівнянь, які носять тепер його ім'я. Свої перші дослідження юний фізик опублікував, коли йому ледь виповнилося 15 років. А в 33 роки Максвелл завершив одну з найважливіших своїх праць, у якій виклав основні поняття *класичної електродинаміки*.

Аж до початку XIX ст. відповідь на запитання, чому внаслідок опускання в гарячий чай холодної ложки чай трохи охолонає, а ложка нагрівається, була приблизно такою: гарячий чай містить більше теплоруду, ніж холодна ложка, і цей теплорід «перетікає» від гарячого тіла до холодного. Це хибне твердження було спростоване завдяки зусиллям німецького лікаря та фізика *Роберта Майєра* (1814–1878), німецького фізика *Германа Гельмгольца* (1821–1894) та англійського фізика *Джеймса Джоуля* (1818–1889), коли їм було відповідно 27, 26 і 25 років. Ці видатні вчені змогли пролити світло на природу теплових явищ і пояснити процеси перетворення тепла. Завершеності їхнім теоретичним дослідженням надав у своїх працях *Людвіг Больцман* — австрійський фізик-теоретик (рис. 6.7). Перша з його праць побачила світ, коли Л. Больцману виповнилося 22 роки, а остання — через шість років. Ці та інші вчені створили теорію теплових явищ — *класичну термодинаміку*, яка є теоретичною базою для роботи сучасних теплових двигунів (рис. 6.8).



Рис. 6.7. Л. Больцман
(1844–1906)

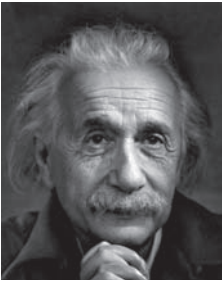


Рис. 6.9. А. Ейнштейн
(1879–1955)

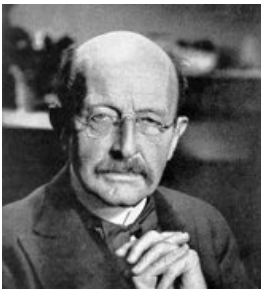


Рис. 6.10. М. Планк
(1858–1947)



Рис. 6.11. Н. Бор
(1885–1962)

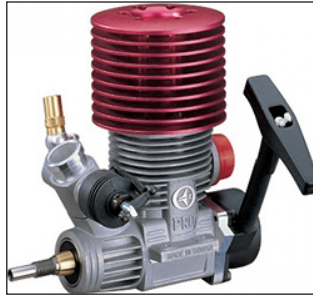


Рис. 6.8. Робота двигунів внутрішнього згорання, турбін літаків базується на законах термодинаміки, у відкритті яких величезна роль належить Л. Больцману



До кінця XIX ст. були створені всі основні розділи класичної фізики, і в багатьох учених виникло переконання, що розвиток фізики завершився, проте воно виявилось дуже передчасним!

2 Дізнаємося про творців сучасної фізики

У 1905 р. в німецькому фізичному журналі з'явилася стаття невідомого тоді автора, працівника патентного бюро в місті Берн (Швейцарія). У роботі було викладено основи спеціальної теорії відносності, що змусила вчених у всьому світі переглянути свої погляди на простір і час, масу та енергію. Автора звали *Альберт Ейнштейн* (рис. 6.9). Так почався новий етап у розвитку фізики.

Відкриття радіоактивності та дослідження будови речовини створили *квантову фізику*. Серед її батьків були такі видатні вчені, як німецький фізик-теоретик *Макс Планк* (рис. 6.10), данський фізик *Нільс Бор* (рис. 6.11), який у 28 років зробив революцію у фізиці, створивши теорію будови атома — основної «цеглинки» світобудови, та англієць *Ернест Резерфорд* (1871–1937) — дійсний член усіх академій наук того часу.

3 Згадуємо українських учених

У «спорудження будівлі» сучасної фізики вчені, чия творчість пов'язана з Україною, теж зробили свій внесок. Серед них *Володимир Іванович Вернадський* (1863–1945), *Олександр Теодорович Смакула* (1900–1983), *Лев Васильович Шубников* (1901–1945), *Лев Давидович Ландау* (1908–1968), *Микола Миколайович Боголюбов* (1909–1992). В Україні народився й працював дослідник радіоактивності та земного магнетизму

Микола Дмитрович Пильчиков (1857–1908), якого можна віднести до числа перших ядерників-експериментаторів.

Про багатьох наших співвітчизників-учених, а також про славетні університети та дослідницькі інститути нашої країни ви дізнаєтеся, уважно прочитавши рубрику «Фізика і техніка в Україні» як у цьому підручнику, так і в підручниках для 8 і 9 класів.

Досягнення українських учених відомі не тільки в нашій країні, але й далеко за її межами. Матеріали та технології, створювані в київському Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона, застосовують на всіх континентах. Синтетичні кристали, які виробляють в Інституті монокристалів (Харків) (рис. 6.12) і на науково-виробничому підприємстві «Карат» (Львів), не поступаються найкращим світовим зразкам. Мають авторитет у галузі обчислювальної техніки й інформаційних технологій розробки Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова (Київ). Одним із центрів ядерної фізики є Харківський фізико-технічний інститут НАН України. У Дніпропетровську створено унікальний ракетний комплекс «Зеніт».



Підбиваємо підсумки

«Споруду сучасної фізики» будували протягом багатьох століть. На кількох сторінках підручника неможливо розповісти про всіх творців фізичної науки і про те, як учені йшли до своїх відкриттів, як обирали мету дослідження, яких зусиль і жертв коштувало їм нове знання. Але навіть короткий екскурс в історію фізики показує, що успіх у науці — це результат напруженої праці, яка починається ще в ранній молодості.

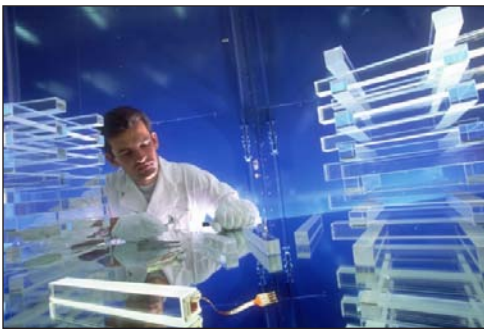


Рис. 6.12. Синтетичні кристали, які використовують на детекторах Великого адронного колайдера (розташований у Європейському центрі ядерних досліджень (CERN) поблизу Женеві, Швейцарія), уперше було створено в харківському Інституті монокристалів



Контрольні запитання

1. Назвіть імена відомих вам учених-фізиків. У яких галузях фізичної науки вони працювали? **2.** Наведіть приклади досягнень українських учених у галузі фізики й техніки.

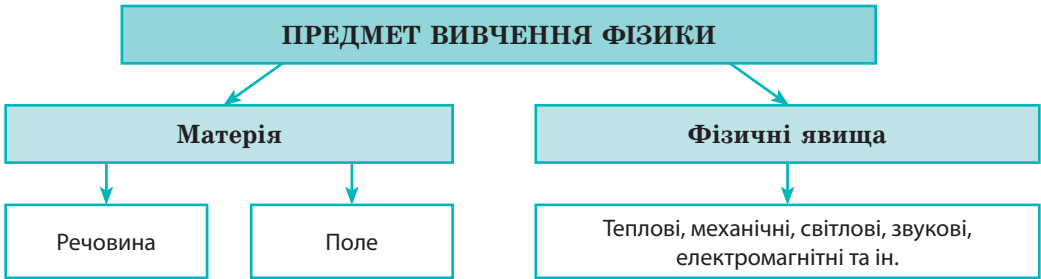


Вправа № 6

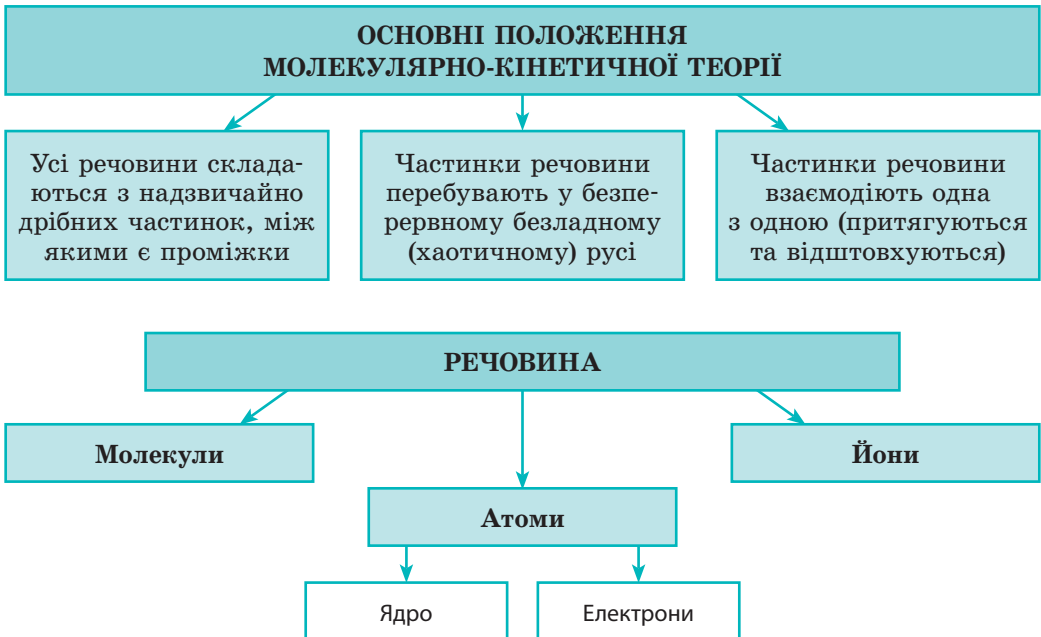
1. Міркування Аристотеля про рух тіл покладені в основу першої фізичної науки — механіки. Скільки часу проіснувала механіка Аристотеля, доки її не спростував Галілео Галілей?
2. Скільки часу тривав «класичний період» у фізиці, якщо вважати, що почався він завдяки здобуткам Галілео Галілея, а закінчився працями Альберта Ейнштейна?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1 «Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання»

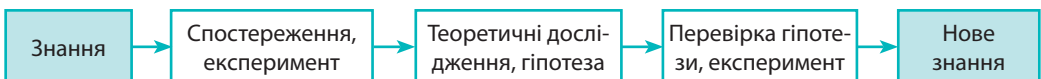
1. У розділі 1 ви дізналися, що фізика являє собою *основу, фундаментальну науку про природу*, та одержали відповідь на запитання «Що вивчає фізика?».



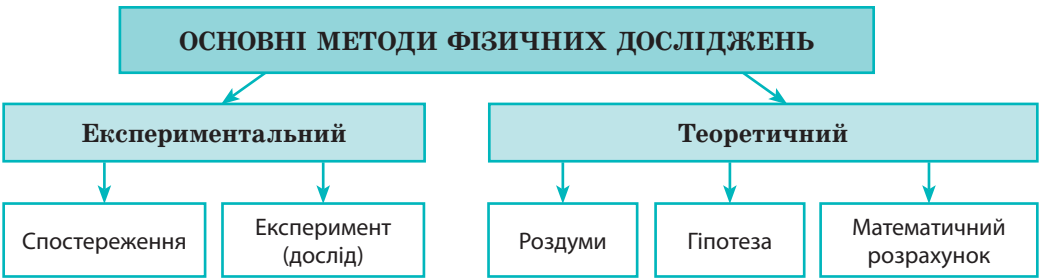
2. Ви з'ясували *основні положення молекулярно-кінетичної теорії* та дізналися, з чого складається речовина.



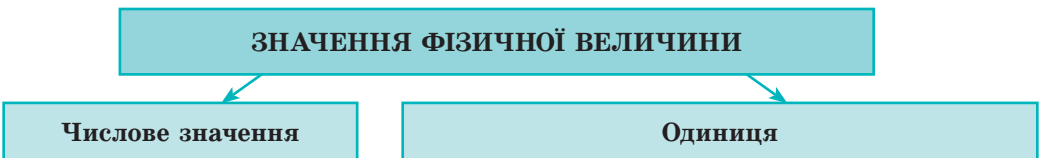
4. Ви простежили *послідовність етапів фізичних досліджень*:



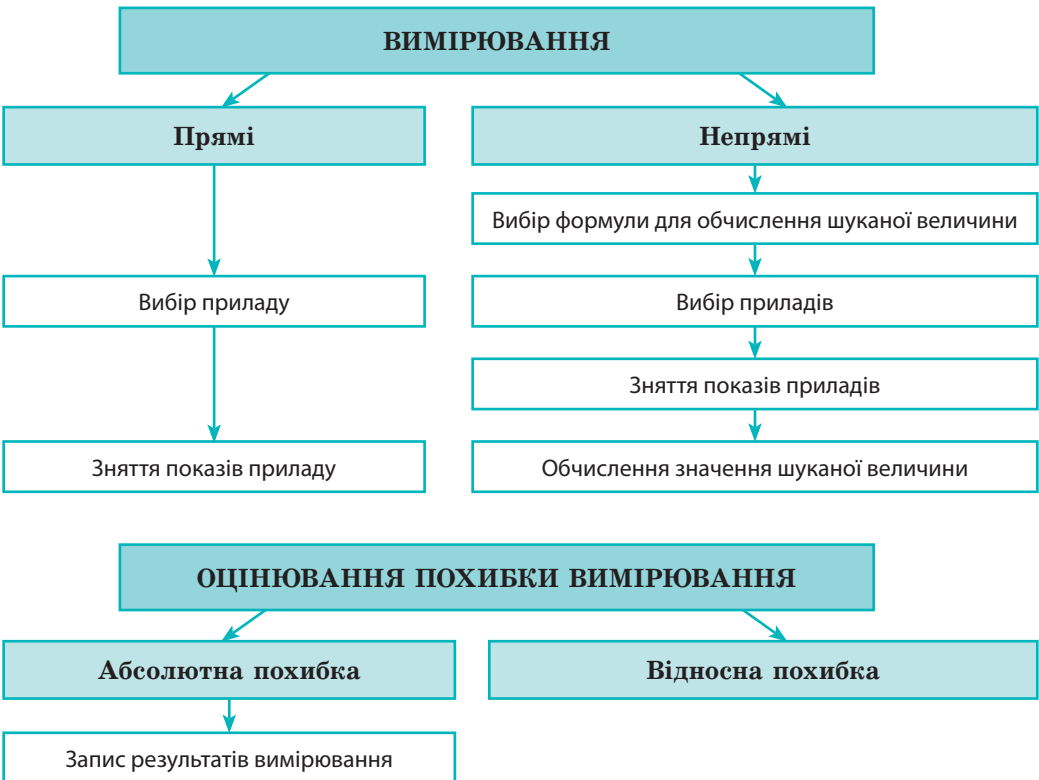
3. Ви ознайомилися з основними методами фізичних досліджень.



5. Ви розширили свої знання про фізичні величини.



6. Ви дізналися про основні етапи вимірювань фізичних величин і про те, як оцінювати похибки вимірювання.



Завдання для самоперевірки до розділу 1 «Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання»

У завданнях 1–6, 8–11 виберіть одну правильну відповідь.

- (1 бал) Хто з перелічених дослідників зробив великий внесок у розвиток фізики?
 - Ернест Резерфорд;
 - Фернан Магеллан;
 - Джеймс Кук;
 - Жак-Ів Кусто.
- (1 бал) Прикладом фізичного тіла може бути:
 - мідь;
 - метеорит;
 - маса;
 - хвилина.
- (1 бал) Яке з поданих тверджень є істинним?
 - Важки для терезів — це фізичний прилад.
 - Мензурка — це міра.
 - Лінійка — це фізичний прилад.
 - Годинник — це міра.
- (1 бал) Яке з наведених понять можна вважати фізичним явищем?
 - швидкість руху;
 - нагрівання;
 - час;
 - міркування.
- (2 бали) Яке твердження є істинним?
 - Під час спостережень завжди виконують вимірювання.
 - Експерименти проводять в умовах, які перебувають під контролем ученого.
 - Під час експериментів не виконують вимірювань.
 - Результати спостереження є критерієм істинності гіпотези.
- (2 бали) Унаслідок явища дифузії:
 - кисень із повітря потрапляє навіть на дно глибокої водойми;
 - зменшується довжина рейки під час її охолодження;
 - тане лід;
 - рідина збирається в краплі.
- (2 бали) Виберіть усі правильні відповіді. Молекули речовини:
 - перебувають у стані спокою;
 - безперервно та хаотично рухаються;
 - тільки притягуються одна до одної;
 - тільки відштовхуються одна від одної;
 - притягуються одна до одної та відштовхуються одна від одної;
 - розташовані так, що між ними немає проміжків.
- (3 бали) Яка нерівність є істинною?
 - $520 \text{ см} > 52 \text{ дм}$;
 - $2000 \text{ мкм} > 20 \text{ мм}$;
 - $3300 \text{ г} < 33 \text{ кг}$;
 - $3 \text{ с} < 300 \text{ мс}$.
- (3 бали) Акваріум має форму прямокутного паралелепіпеда, довжина якого становить 0,50 м, ширина — 300 мм, висота — 42 см. Якою є місткість акваріуму?
 - $6,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$;
 - $6,3 \cdot 10^5 \text{ см}^3$;
 - $6,3 \cdot 10^3 \text{ см}^3$;
 - $6,3 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$.
- (3 бали) Уважно розгляньте [рис. 1](#) і заповніть таблицю.

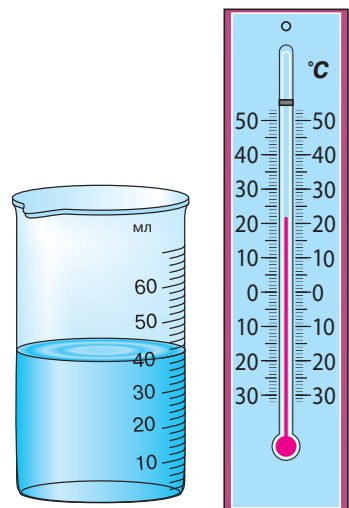


Рис. 1

Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця фізичної величини	Межі вимірювання		Ціна поділки шкали приладу	Показ приладу
			верхня	нижня		

11. (3 бали) Установіть відповідність між кожним словом (1–6) речення і фізичним поняттям (А–Є).

- Алюмінієвий (1)
дріт (2)
масою (3)
двадцять (4)
грамів (5)
зігнули (6).
- А Одиниця фізичної величини
Б Речовина
В Фізична величина
Г Фізичне тіло
Д Фізичне явище
Е Фізичний закон
Є Числове значення фізичної величини

	А	Б	В	Г	Д	Е	Є
1							
2							
3							
4							
5							
6							

12. (4 бали) Визначте діаметр дроту, зображеного на рис. 2.

13. (4 бали) Виміряйте довжину бруска, зображеного на рис. 3. Оцініть абсолютну та відносну похибки вимірювання.



Рис. 2

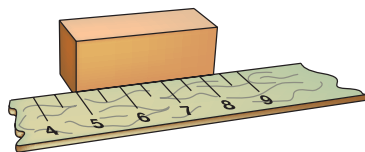


Рис. 3

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, та полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Ми сподіваємося, що ви отримали від 7 до 10 балів. Це добрий результат. Але щоб отримати ще вищий бал, необхідно виконати завдання 14.

14. Підтвердьте або спростуйте наведені твердження. Обґрунтуйте свою відповідь.

- Фізика не закінчується за дверима шкільного кабінету.
- Відомо, що $1 \text{ дм}^3 = 1 \text{ л}$. Якби шкали бензоколонок на автозаправках були проградуйовані в кубічних метрах, то похибка у вимірюванні об'єму пального зменшилась би.
- Альфред Нобель повинен був не розповідати світу про свій винахід — динаміт.



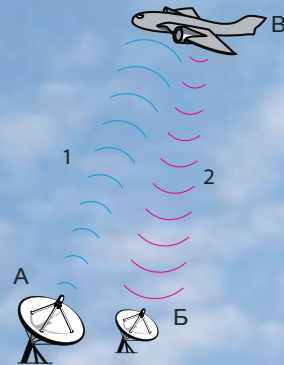
Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

Чому в сучасному світі важко загубитись

Лише кілька десятиліть тому слово «радіолокатор», або «радар», асоціювалося з протиповітряною обороною, слово «гідролокатор», або «сонар», — із сейнерами та підводними човнами. А от абрєвіатури GPS і взагалі не існувало. Нині система GPS рекламується як найкращий засіб від викрадень автомобілів, найпростіші моделі сонарів може придбати кожний рибалка, а радарами оснащуються не лише літаки, але й невеликі катери.

Радіолокатор / радар

На початку ХХ століття було виявлено, що радіохвилі відбиваються від металевих предметів. Це відкриття дало змогу запропонувати принцип радіолокації — виявлення, розпізнавання та визначення координат різноманітних предметів за допомогою радіохвиль. Якщо прилад зафіксує факт відбиття, значить, він виявив об'єкт (літак). За швидкістю поширення радіохвилі (300 000 км/с) та інтервалом часу між моментами випромінювання та прийому сигналу можна визначити відстань до об'єкта (його координати). Нарешті, за характером відбитого сигналу можна розпізнати, від якого об'єкта (літака, айсберга, скелі) відбилася радіохвиля.



Принцип дії радара:

А — передавач; Б — приймач; В — об'єкт (літак);

1 — випромінювана хвиля;
2 — відбита хвиля.

У сучасних радарях передавач і приймач зазвичай поєднуються



Спеціальні покриття на поверхні військових літаків знижують рівень відбитого сигналу, і такі літаки не можуть бути виявлені звичайними радарми

Це цікаво

РАДАР — від англійського слова *radar*, скорочення від *ra(dio) d(etecting) a(nd) r(anging)* — радіовиявлення та визначення дальності.

СОНАР — від англійського слова *sonar*, скорочення від *so(und) na(vigation) a(nd) r(anging)* — звукова навігація та визначення дальності.

GPS — абрєвіатура від англійських слів *global position system* — всесвітня система визначення місцезнаходження.

Це цікаво

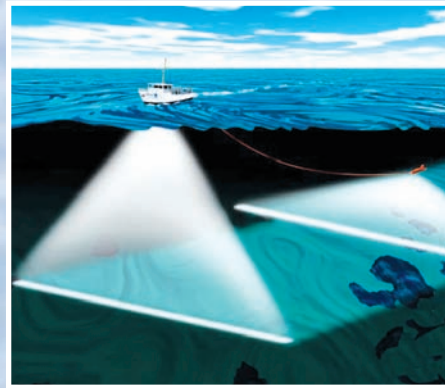
Систему GPS, так само як Інтернет, спочатку було створено на замовлення американського уряду. Сьогодні послуги цієї системи безкоштовні.

Європейський Союз завершує створення власної системи навігації, яка є аналогом GPS. Ця система має назву Galileo. У створенні Galileo бере участь Україна.



Гідролокатор / сонар

Принцип роботи гідролокатора подібний до принципу роботи радара, тільки він випромінює і, відповідно, фіксує не радіо-, а звукові хвилі. Як і у випадку радіохвиль, за швидкістю поширення звуку у воді (1500 м/с) та часом затримки приходу відбитої хвилі можна визначити відстань до об'єкта, а за напрямком приходу відбитого сигналу — напрямком на об'єкт. Уперше гідролокатор був застосований для виявлення підводних човнів під час Першої світової війни (1914–1918), згодом його почали застосовувати для дослідження рельєфу морського та океанського дна, для виявлення косяків риби тощо.



GPS

GPS створено для того, щоб будь-який користувач міг визначити свої координати на земній поверхні з точністю до кількох десятків метрів. Нині ця система не лише стежить за правильним курсом судна, але й допомагає звичайним туристам не заблукати в незнайомому місті.

Система GPS складається з декількох десятків супутників, які літають на висоті приблизно 20 000 км над Землею, та наземних систем. Супутники постійно підтримують зв'язок із наземними системами і завдяки цьому точно «знають» своє положення відносно Землі. Кожний користувач GPS-навігатора в будь-яку мить може визначити місце свого перебування. Щоб це відбулося, GPS-навігатор повинен отримати сигнали від трьох-чотирьох різних супутників одночасно та обробити отримані дані за допомогою вбудованого в нього комп'ютера.

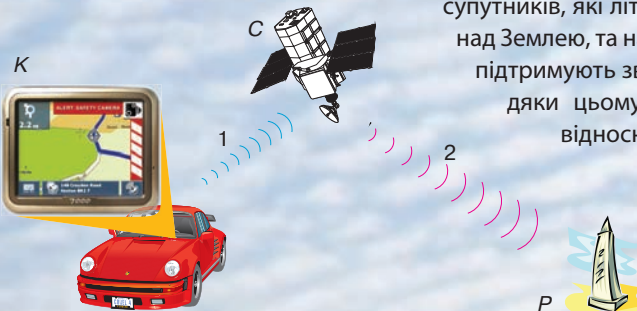


Схема роботи системи GPS: С — супутник; P — наземні системи; K — користувач приладу GPS; 1 — радіообмін із користувачем; 2 — радіосигнал для зв'язку з наземними системами

Теми рефератів і повідомлень

1. Технічні винаходи , що змінили життя людства.
2. Сучасна фізика як доказ мудрості наших предків.
3. Історія створення перших еталонів.
4. Які еталони має Україна і де вони зберігаються.
5. Еволюція вимірювальних приладів.
6. Які вони — найдрібніші об'єкти в природі.
7. Стародавні одиниці довжини і часу.
8. Як зароджувалося вчення про атоми.
9. Перші спроби та сучасні методи вимірювання розмірів молекул.
10. Що можуть нанотехнології.
11. Дифузія навколо нас.
12. Метеорити, що загрожують існуванню людства.
13. Мікро-, макро- й мегасвіти.
14. 10 цікавих фактів із життя видатних учених.
15. Історія одного відкриття.
16. Архімед — великий давньогрецький математик, фізик та інженер.
17. Аристотель — видатний вчений давнини.
18. Досягнення й трагедії геніального фізика Галілео Галілея.
19. Генії фізичної науки ХХ століття.
20. Внесок українських учених у розвиток сучасної техніки.
21. Найпрестижніша міжнародна премія з фізики та її лауреати.

Теми експериментальних досліджень

1. Спостереження та дослідження процесу дифузії.
2. Вимірювання лінійних розмірів тіл за допомогою різних приладів.
Оцінювання похибки вимірювання.
3. Вимірювання площі поверхні тіл різними способами.

РОЗДІЛ 2

МЕХАНІЧНИЙ РУХ

- Ви знаєте, як знайти шлях, який пройшло тіло, а дізнаєтесь, як знайти переміщення цього тіла
- Ви уявляєте, що таке точка, а дізнаєтесь про матеріальну точку
- Ви можете описати рух тіла, спостерігаючи за ним, а зможете розказати, як рухалось тіло, розглядаючи графік його руху
- Ви знаєте, що літак заправляють під час стояння, а дізнаєтесь, як це можна зробити в повітрі, під час польоту
- Ви знаєте, що в багатьох годинниках використовують маятники, а дізнаєтесь, які властивості маятника забезпечили це використання



§ 7. МЕХАНІЧНИЙ РУХ. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ. СИСТЕМА ВІДЛІКУ

Якщо ви переміщуєте повз парти ваш рюкзак з підручниками, то для вас не викликає сумніву, що і рюкзак, і підручники рухаються, а парти й ви самі перебуваєте у стані спокою. А якби ваш товариш казково зменшився і перебував у рюкзаку, чи побачив би він рух підручників? а чи залишилася б для нього нерухомою парти?

1 Знайомимося з механічним рухом

Усе у світі перебуває в русі (рис. 7.1): мільярди років, що існує всесвіт, розлітаються одна від одної галактики; Земля обертається навколо Сонця, здійснюючи один оберт за рік; за декілька годин літак перелітає з Києва до Парижа; у краплині води безліч мікробів щосекунди перестрибують з місця на місце; увесь час рухаються молекули та атоми речовин.

Незважаючи на розмаїття прикладів руху, для них можна визначити спільні риси: по-перше, усі тіла, що рухаються, *змінюють своє положення в просторі відносно інших тіл*; по-друге, *зміна положення тіл відбувається з плином часу*.

Найпростішим різновидом руху є *механічний рух*.

Механічний рух — це зміна з часом положення тіла або частин тіла в просторі відносно інших тіл.

Зверніть увагу! У науці розрізняють три рівні будови всесвіту: *мікросвіт*, *макросвіт* і *мегасвіт*. До мікросвіту належать атоми, молекули, йони, а також частинки, з яких вони складаються; до макросвіту — планети, фізичні тіла, які оточують людину, а також сама людина; до мегасвіту — зорі, галактики та інші величезні космічні об'єкти. *Механічний рух* — це рух об'єктів макросвіту та мегасвіту. *Тепловий рух молекул і атомів не є механічним*.

2 Дізнаємося про відносність руху та спокою

Погляньте навколо. Які тіла, що вас оточують, рухаються? Які є нерухомими? Чому ви дійшли такого висновку? А чи будуть тіла, які ви вважаєте нерухомими, перебувати у стані спокою відносно Сонця?



Рис. 7.1. Усе у світі рухається: і величезні галактики, і тіла, що нас оточують, і мікроскопічні істоти

Напевно ви відповіли на всі запитання, а отже, самостійно дійшли висновку: *з'ясувати, рухається тіло чи перебуває у стані спокою, можна тільки якщо розглядати положення цього тіла відносно інших тіл* (рис. 7.2).

Тіло, відносно якого фіксується положення тіла, що рухається, називають **тілом відліку**.

Вибір тіла відліку є довільним. За тіло відліку спостерігач може взяти будь-яке тіло з огляду на міркування зручності. Те, що тіло відліку обирається довільно, означає, що *стан руху і стан спокою є відносними*.

Уявімо пасажирів, який, сидячи в кріслі вагона потяга, прямує до іншого міста. Відносно крісла та вагона пасажир не змінює свого положення з часом, тобто перебуває у стані спокою, а відносно дерев за вікном пасажир рухається (рис. 7.3).

Читаючи ці рядки, ви, найімовірніше, сидите в класі за партою або вдома за столом. Сподіваємось, вам не буде важко назвати тіла, відносно яких ви рухаєтесь, і тіла, відносно яких перебуваєте у стані спокою.

Відносність руху дає можливість «зупинити» автомобіль, що мчить дорогою. Для цього потрібний ще один автомобіль, який буде рухатися поряд із першим, не відстаючи й не обганяючи його. У такому випадку автомобілі один відносно одного перебуватимуть у стані спокою. Згадайте, як каскадери пересідають на швидкості з одного автомобіля на інший: не треба ніякої зупинки! Той самий принцип використовують і для заправлення літака паливом просто в повітрі: треба тільки, щоб літаки не рухались один відносно одного (рис. 7.4).

3 **Визначаємо положення тіла в просторі**

Коли тіло рухається, то його положення в просторі змінюється. Для визначення положення тіла в просторі використовують *систему координат*, яку пов'язують із *тілом відліку*.



Рис. 7.2. Якщо уявити, що у всесвіті є тільки одне тіло, наприклад планета Земля, то спроба визначити, чи рухається воно, втрачає сенс — це неможливо



Рис. 7.3. Пасажир рухається відносно дерев за вікном потяга, а відносно вагона залишається нерухомим



Рис. 7.4. Літаки один відносно одного зупинилися, водночас відносно Землі вони рухаються з великою швидкістю

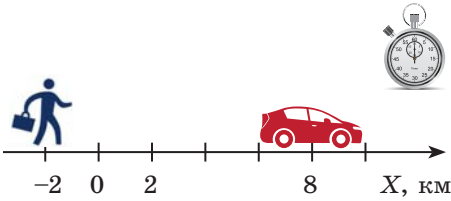


Рис. 7.5. Щоб визначити положення в певний момент часу пішохода й автомобіля на прямолінійній ділянці дороги, досить однієї координати: $x_{\text{п}} = -2$ км; $x_{\text{а}} = 8$ км

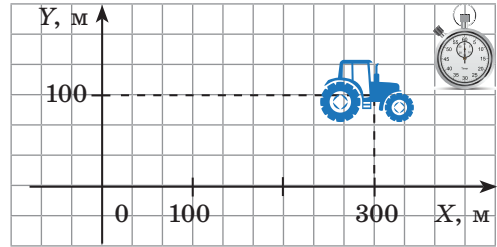


Рис. 7.6. Щоб визначити положення в певний момент часу трактора в полі, потрібно знати дві координати: $x = 300$ м, $y = 100$ м

Система координат задається за допомогою однієї, двох або трьох *координатних осей*. Уздовж осей відкладають відстані в обраному масштабі, наприклад у кілометрах або метрах (рис. 7.5, 7.6).

Зміна положення тіла відбувається не миттєво, а протягом певного часу, тому для опису механічного руху є також необхідним *прилад для відліку часу* — годинник.

Тіло відліку, пов'язана з ним система координат і годинник для відліку часу утворюють **систему відліку**.

Зверніть увагу! Судити про механічний рух без зазначення системи відліку неможливо.



Підбиваємо підсумки

Механічний рух — зміна з часом положення тіла або частин тіла в просторі відносно інших тіл. Тіло, відносно якого фіксується положення тіла, що рухається, називають тілом відліку.

Тіло відліку, пов'язана з ним система координат і годинник для відліку часу утворюють систему відліку. Стани руху та спокою залежать від вибору системи відліку, тобто є відносними.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення механічного руху.
2. Наведіть приклади механічного руху.
3. Чи можна вважати безперервний хаотичний рух молекул механічним рухом?
4. Що таке тіло відліку?
5. Як ви розумієте вираз «механічний рух є відносним»?
6. Наведіть приклади на підтвердження відносності руху.
7. Як задають систему координат? Наведіть приклади.
8. Що таке система відліку?



Вправа № 7

1. Визначте, відносно яких тіл розглядають рух (або спокій) таких тіл: а) шматок пінопласту лежить на поверхні води в річці; б) придорожні стовпи «пролітають» повз автомобіль; в) сонце вранці встає на сході, а ввечері сідає на заході.
2. Яків Ісидорович Перельман (1882–1942) у своїй книжці «Захоплююча фізика» описує випадок із пілотом літака під час Першої світової війни (1914–1918). Слід зазначити, що літаки тоді літали досить повільно, а кабіна пілота була відкритою.

Піднявшись на висоту 2 км, пілот побачив біля свого обличчя якусь «комаха» та спіймав її. Однак «комаха» виявилася кулею. Чому пілот зміг спіймати кулю?

3. Уявіть, що вам електронною поштою призначили зустріч четверо друзів. Перший написав: «О 15.00 за 200 метрів від кав'ярні "Літо"»; другий: «О 15.00 за 200 метрів від кав'ярні "Літо" в напрямку на північ»; третій: «О 15.00»; четвертий: «За 200 метрів від кав'ярні "Літо"». З ким із ваших друзів ви можете зустрітися, а з ким — навряд чи? Відповідь обґрунтуйте.
4. Координати дерева, каменя та світлофора, розташованих на узбіччі прямолінійної ділянки дороги, становлять $x_d = -1$ км, $x_k = 2$ км та $x_c = 3,5$ км відповідно. Накресліть у зошиті координатну вісь та позначте на ній початок координат і положення зазначених тіл. Визначте відстань між ними.
5. Грибник спочатку був у точці A з координатою $x = 200$ м, $y = 100$ м. За 10 хв він перемістився в точку B , розташовану на відстані 500 м від точки A в напрямку на південь, а ще за 20 хвилини — у точку C , розташовану на відстані 400 м від точки B в напрямку на захід. Накресліть у зошиті систему координат, зобразіть зазначені точки та визначте їхні координати.



Експериментальне завдання

Здайте у вашій кімнаті систему координат із трьома осями, обравши за осі координат лінію будь-якого вільного кута кімнати та два плінтуси, які до цього кута підходять. У цій системі визначте координати вашої настільної лампи, використавши зручні одиниці довжини. Звіт подайте у вигляді рисунка, на якому зазначте осі координат, розташування лампи та її координати.

§ 8. МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА. ТРАЄКТОРІЯ РУХУ. ШЛЯХ. ПЕРЕМІЩЕННЯ

Запишіть у зошиті тему, яку ви зараз вивчатимете. Букви, що ви написали, — це шматочки траєкторії кінчика вашої ручки. Чому шматочки? Чому тільки кінчика? І взагалі, що таке траєкторія? Відповіді на ці та інші запитання ви знайдете в цьому параграфі.

1 Визначаємо, коли тіло вважають за матеріальну точку

Візьміть аркуш паперу. Поставте на ньому точки A і B . З'єднайте ці точки кривою лінією (рис. 8.1). Ви отримали лінію, в кожній точці якої послідовно побував кінчик олівця. Ця лінія збігається з *траєкторією руху* кінчика олівця.

Траєкторія руху — це уявна лінія, яку описує в просторі точка, що рухається.

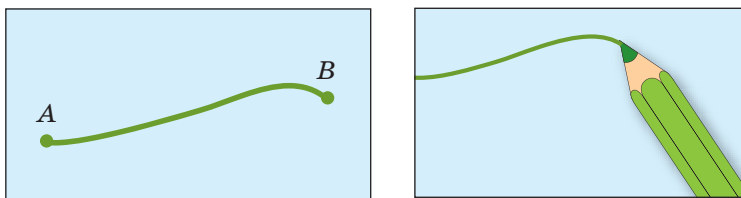


Рис. 8.1. На папері кінець олівця залишає лінію, по якій рухався

Під час руху будь-якого тіла кожна його точка має свою траєкторію. На практиці дослідити траєкторії руху всіх точок тіла досить складно, проте часто в цьому немає потреби, оскільки відстані, які долає тіло, набагато більші за розміри тіла. У такому випадку, описуючи рух тіла, тіло заміняють на фізичну модель — *матеріальну точку*. Маса матеріальної точки дорівнює масі тіла, а її розміри є нехтовно малими.

Матеріальна точка — це фізична модель, яку використовують замість тіла, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати.

Те саме тіло в умовах однієї задачі можна вважати матеріальною точкою, а в умовах іншої — не можна.

Уявіть собі автомобіль, який прямує трасою з Одеси до Києва, і цей же автомобіль, коли він паркується на автостоянці. У першому випадку, досліджуючи рух автомобіля, його розмірами можна знехтувати. Тобто можна не враховувати, що під час руху автомобіля його окремі точки рухалися різними траєкторіями, адже відстань, яку пройшов автомобіль, була набагато більшою, ніж його, скажімо, довжина. У другому випадку нехтувати розмірами автомобіля не можна.

Спробуйте навести подібні приклади, взявши як досліджувані тіла самого себе, Землю, олівець, дерево.

Зверніть увагу! Коли ми визначаємо координату тіла, то вважаємо це тіло за матеріальну точку. Далі, коли говоритимемо про рух тіла, будемо вважати, що йдеться про рух матеріальної точки.

2 Дізнаємося про траєкторію руху тіла

Зазвичай ми не бачимо траєкторії руху тіл, проте інколи бувають винятки. Так, у безхмарну погоду високо в небі можна побачити білий слід, який залишає літак під час свого руху*. За цим слідом можна дізнатися про траєкторію руху літака.

Як ви вважаєте: траєкторію руху яких тіл можна відновити за слідами, зображеними на рис. 8.2? А в яких випадках траєкторію руху «заготовлюють» заздалегідь?

Форма траєкторії руху тіла може бути різною: пряма, коло, дуга, ламана тощо. За формою траєкторії руху тіл поділяють на *прямолінійний* і *криволінійний* (рис. 8.3).



Рис. 8.2. За певними слідами легко відновити траєкторії руху деяких тіл

* Чому виникає такий слід і що він собою являє, ви дізнаєтеся з курсу фізики 8-го класу.

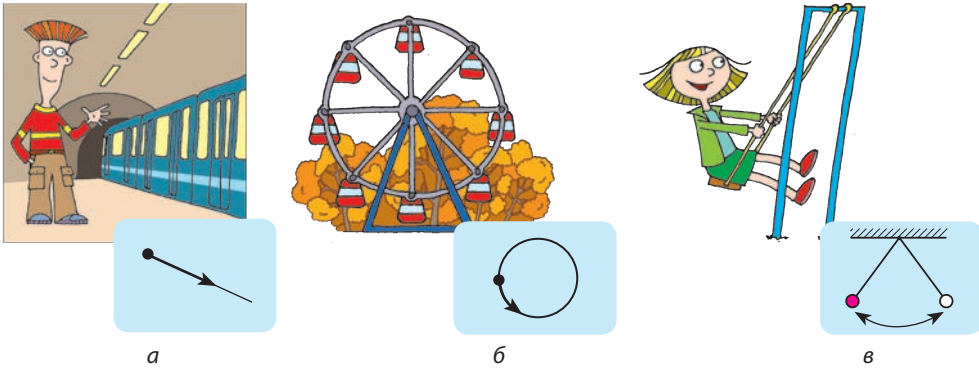


Рис. 8.3. Рух потяга на станції метро — приклад прямолінійного руху (а); рух кабінки оглядового колеса і дітей, які гойдаються,— приклади криволінійного руху (б, в)

Форма траєкторії залежить від того, відносно якої системи відліку розглядають рух.

Наведемо приклад (див. рис. 8.4). Уявіть, що в хлопчика, який їде в автобусі, впало з рук яблуко. Для його сусіда траєкторія руху яблука — короткий відрізок прямої. Система відліку в цьому випадку пов'язана із салоном автобуса. Але весь час, поки яблуко падало, воно «їхало» разом з автобусом, тому для людини, що стоїть на узбіччі шосе, траєкторія руху яблука зовсім інакша. Система відліку в такому разі пов'язана із шосе.

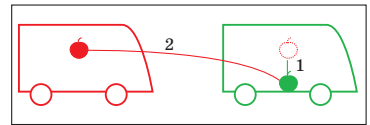
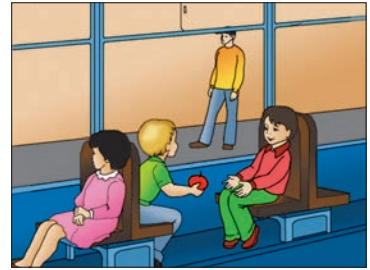


Рис. 8.4. Траєкторія руху яблука для пасажирів автобуса — короткий відрізок прямої (на схемі — лінія 1), для спостерігача на узбіччі дороги — крива лінія (на схемі — лінія 2)

3 З'ясуємо, чим шлях відрізняється від переміщення

Повернемося на початок параграфа (див. рис. 8.1). Щоб знайти шлях, який пройшов кінець олівця, рисуємо криву лінію, необхідно виміряти довжину цієї лінії, тобто знайти довжину траєкторії (рис. 8.5).

Шлях — це фізична величина, яка дорівнює довжині траєкторії.

Шлях позначають символом l (ель).

Одиниця шляху в СІ — метр:

$$[l] = \text{м.}$$

Використовують також частинні та кратні одиниці шляху, наприклад міліметр (1 мм = 0,001 м), сантиметр (1 см = 0,01 м), кілометр (1 км = 1000 м).



Рис. 8.5. Вимірювання довжини траєкторії

Шлях, який пройшло тіло, буде різним відносно різних систем відліку. Згадаємо про яблуко в автобусі: для хлопчика яблуко пододало шлях близько півметра, а для людини на узбіччі дороги — декілька метрів.

Якщо відомі лише траекторія руху тіла та шлях, який воно пододало, то залишається невідомим, у якому напрямку перемістилося тіло вздовж цієї траекторії.

Повернемося знову до рис. 8.1 і з'єднаємо точки A і B відрізком прямої зі стрілкою (рис. 8.6). У такий спосіб отримуємо *напрямлений відрізок*, який покаже, в якому напрямку та на яку відстань перемістився кінець олівця.



Рис. 8.6. переміщення показує, в якому напрямку та на яку відстань перемістилося тіло за певний інтервал часу

Напрямлений відрізок прямої, який з'єднає початкове та кінцеве положення тіла, називають **переміщенням**.

Переміщення позначають символом \vec{s} (ес). Стрілка показує, що переміщення має не тільки значення (модуль), але й напрямок*.

Модуль переміщення, тобто відстань, на яку перемістилося тіло в даному напрямку, також позначають символом s , але без стрілки.

Одиниця переміщення в СІ така сама, як і одиниця шляху, — **метр**:

$$[s] = \text{м.}$$

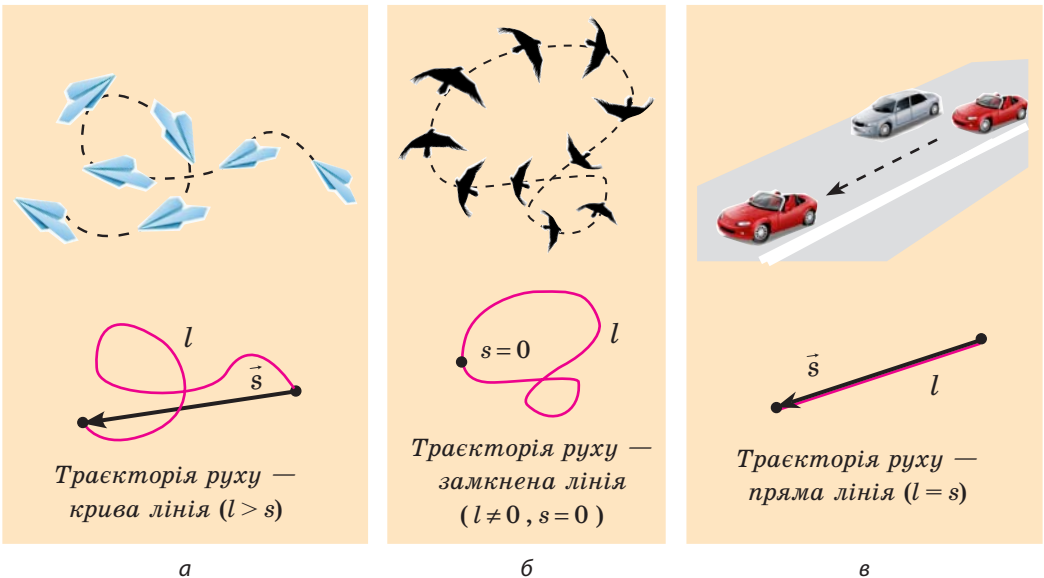


Рис. 8.7. Порівняння шляху l і модуля переміщення s тіла

* Фізичні величини, які мають значення та напрямок, називають *векторними*, а ті, які мають тільки значення, називають *скалярними*.

Якщо відомі початкове положення тіла та його переміщення за певний інтервал часу, то завжди можна знайти наступне положення тіла.

У загальному випадку переміщення не збігається з траєкторією руху тіла (рис. 8.7, а, б), тому шлях, пройдений тілом, не завжди дорівнює модулю переміщення тіла. Шлях і модуль переміщення виявляються рівними тільки в тому випадку, коли тіло рухається вздовж прямої в незмінному напрямку (рис. 8.7, в).



Підбиваємо підсумки

У фізиці для спрощення опису руху тіла використовують фізичну модель — матеріальну точку. Матеріальна точка — це тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати.

Уявна лінія, яку описує в просторі точка, що рухається, називається траєкторією. За видом траєкторії рух тіл поділяється на прямолінійний та криволінійний.

Шлях l — це фізична величина, яка дорівнює довжині траєкторії. Переміщення \vec{s} — це напрямлений відрізок прямої, який з'єднує початкове та кінцеве положення тіла. Одиниця шляху та переміщення в СІ — метр (м).

Якщо тіло рухається вздовж прямої в незмінному напрямку, то шлях дорівнює модулю переміщення.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення траєкторії руху.
2. Що називають матеріальною точкою?
3. У яких випадках тіло, що рухається, можна розглядати як матеріальну точку?
4. Що таке шлях? Назвіть одиниці шляху.
5. Чому, знаючи шлях, не завжди можна визначити кінцеве положення тіла?
6. Дайте визначення переміщення. Назвіть одиниці переміщення.
7. Як переміщення позначають на кресленнях?
8. Коли модуль переміщення дорівнює пройденому шляху?
9. Чи залежать траєкторія руху тіла, шлях та переміщення від вибору системи відліку? Наведіть приклади.



Вправа № 8

1. Чи можна вважати космічний корабель за матеріальну точку, коли він: а) здійснює переліт Земля — Марс; б) здійснює посадку на поверхню Марса?
2. Із складу А до складу В треба перемістити вантаж. Це можна зробити по-різному: вантажівкою через міст, катером або гелікоптером. Чи однаковий шлях подолає вантаж? Чи однаковим буде його переміщення?
3. Футболіст пробігає за матч близько 10 км. 10 км — це шлях чи модуль переміщення футболіста? Яким може виявитися мінімальний модуль переміщення футболіста за матч?
4. М'яч, кинутий вертикально вгору, піднявся на висоту 5 м і впав на те саме місце, з якого був кинутий. Визначте шлях і модуль переміщення м'яча.
5. Уявіть: ви виконуєте запис у зошиті. Якою буде траєкторія руху кінчика ручки відносно зошита? Як відрізняється ця траєкторія від траєкторії руху інших точок ручки?

6. Гелікоптер піднімається вертикально вгору (див. рисунок). Зобразіть траєкторію руху декількох точок, розташованих на лопатях гвинта гелікоптера: а) відносно пілота; б) відносно Землі.
7. Мотоцикліст, рухаючись ареною цирку, проїжджає коло радіуса 13 м за 8 с. Визначте шлях і модуль переміщення мотоцикліста: а) за 4 с руху; б) за 8 с руху.
8. Пасажир потяга пройшов вагоном від першого до четвертого купе. За цей час вагон проїхав відстань 400 м. Відстань між першим і четвертим купе становить 7,5 м. Визначте, який шлях подолав пасажир відносно потяга; відносно землі, якщо він рухався: а) у напрямку руху потяга; б) проти напрямку руху потяга.
9. У початковий момент часу тіло перебувало в точці з координатами $x_0 = 4$ м, $y_0 = -3$ м. Через певний інтервал часу тіло перемістилося в точку з координатами $x = -4$ м, $y = 3$ м. Накресліть вектор переміщення та визначте його модуль. Чи можна, використавши дані задачі, визначити шлях, пройдений тілом?

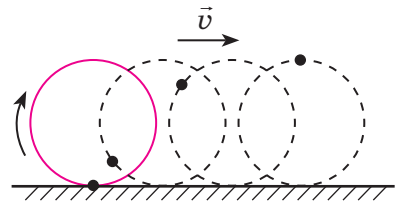


10. Розв'яжіть рівняння: а) $5 = 2t$, б) $4 - 2x = 0$, в) $1,8 = \frac{27}{y}$.



Експериментальне завдання

«Циклоїда». Зробіть паперовий круг — «колесо», на «ободі» якого поставте точку. Потім на аркуш паперу покладіть лінійку й розмістіть «колесо» на лінійці так, щоб воно її торкалося. Перекочуючи «колесо» вздовж лінійки, позначайте на папері положення зазначеної точки (див. рисунок). Сполучіть одержані позначки — це й буде траєкторія руху заданої точки відносно лінійки. Оберіть інші точки, проколовши в «колесі» 2–3 отвори, один з яких розташуйте в центрі колеса. Побудуйте траєкторії руху цих точок.



Фізика і техніка в Україні



Євген Оскарович Патон (1870–1953) — засновник Інституту зварювання, який зараз носить його ім'я, автор і керівник проектів понад 100 зварних мостів. Серед них — розташований у Києві суцільнозварний міст через Дніпро, відомий нині як міст Патона. Цей міст зараз є одним із найбільших у світі.

У роки Великої Вітчизняної війни (1941–1945) Є. О. Патон запровадив в оборонну промисловість технологію автоматичного зварювання і цим здійснив значний внесок у нарощування випуску танків «Т-34». Автомати швидкісного зварювання дозволили знизити у вісім разів працездатність виготовлення корпусів танків, а крім того, не вимагали від робітників високої кваліфікації, глибоких спеціальних знань і великих фізичних зусиль. Автоварювальниками могли працювати підлітки та жінки.

У післявоєнні роки Є. О. Патон очолив дослідження зі створення наукових основ зварювання та широкого запровадження зварювання в промисловість.

§ 9. РІВНОМІРНИЙ РУХ. ШВИДКІСТЬ РУХУ

Під час репортажів з автомобільних перегонів, у повідомленнях про погоду можна, наприклад, почути: «Швидкість автомобіля-переможця перед фінішем сягнула 250 кілометрів на годину»; «Швидкість вітру сягатиме 25 метрів на секунду» тощо. Що це означає? Як порівняти ці швидкості? Відповіді на такі запитання — в цьому параграфі.

1 Знайомимося з рівномірним рухом

Слово «швидкість» ви знаєте змалку. Тому, коли чуєте, що швидкість руху автомобіля становить 20 метрів на секунду, то інтуїтивно розумієте: автомобіль, рухаючись із цією швидкістю, кожену секунду долає відстань 20 м. При цьому мається на увазі, що *за будь-які* (малі або великі) *рівні інтервали часу* автомобіль проходить *однаковий шлях*. Тобто рух автомобіля ви вважаєте *рівномірним*.

Рівномірний рух — це механічний рух, у ході якого за будь-які рівні інтервали часу тіло проходить однаковий шлях.

Зверніть увагу на вираз «*будь-які* рівні інтервали часу». Річ у тім, що інколи, розглядаючи *нерівномірний* рух тіла, теж можна дібрати такі рівні інтервали часу, за які тіло проходить однакову відстань. Наприклад, за кожні 30 с плавець пропливає доріжку в басейні (25 м), проте не можна стверджувати, що він рухається рівномірно, бо під час повороту він сповільнює свій рух.

2 Даємо визначення швидкості руху

Сподіваємося, що вам неважко визначити, наприклад, швидкість рівномірного руху пішохода, який пройшов 30 м за 20 с. З курсу математики вам добре відомо, що для цього слід шлях, який подолав пішохід ($l = 30$ м), поділити на час руху пішохода ($t = 20$ с).

Швидкість рівномірного руху — це фізична величина, що дорівнює відношенню шляху, який пройшло тіло, до інтервалу часу, протягом якого цей шлях був пройдений.

Швидкість руху зазвичай позначають символом v (ве). Отже, можемо записати *формулу для визначення швидкості руху тіла*:

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

У Міжнародній системі одиниць шлях вимірюють у метрах, час — у секундах, тому *одиниця швидкості руху в СІ* — метр на секунду:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ дорівнює швидкості такого рівномірного руху, під час якого тіло за 1 с долає шлях 1 м.

Приладом для вимірювання швидкості руху слугує *спідометр* (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Транспортні засоби (автомобілі, автобуси, потяги, літаки, судна) обладнані спідометрами — приладами для вимірювання швидкості руху

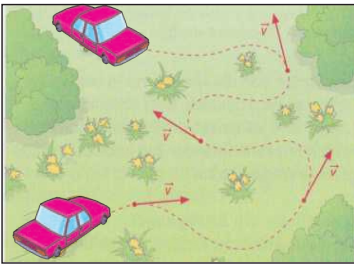


Рис. 9.2. Швидкість руху — векторна величина: вона має не тільки значення, але й напрямок

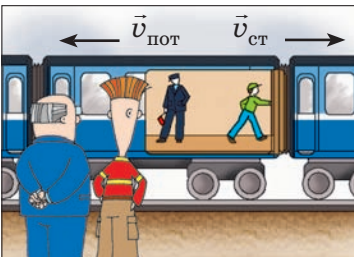


Рис. 9.3. Напрямок та значення швидкості руху залежать від того, де перебуває спостерігач

3 Характеризуємо швидкість руху

Окрім значення швидкості руху має й напрямок. Автомобіль може їхати в один бік або інший, футболіст може бігти полем як до воріт, так і до лави запасних тощо. На рисунках напрямок швидкості руху тіла позначають стрілкою (рис. 9.2).

Напрямок і значення швидкості руху тіла залежать від того, відносно якого тіла розглядають рух.

Уявіть, що ви сидите у вагоні потяга, який прямує на схід (рис. 9.3). Потяг проїжджає повз станцію зі швидкістю $v_{\text{пот}} = 9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. У цей час стюард іде вагоном зі швидкістю $v_{\text{ст}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, рухаючись проти руху потяга.

Як ви вважаєте, чи однаковою буде швидкість руху стюарда для вас і для людини на пероні? Звісно, ні! Для вас стюард рухається на захід зі швидкістю $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а для людини на пероні стюард разом із поїздом рухається на схід зі швидкістю $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Значення швидкості руху може бути подано не тільки в метрах на секунду, але й в інших одиницях. Наприклад, автомобіль рухається зі швидкістю 36 кілометрів на годину $\left(v_{\text{авт}} = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} \right)$, ракета мчить зі швидкістю 8 кілометрів на секунду $\left(v_{\text{р}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{с}} \right)$, равлик повзе зі швидкістю 20 сантиметрів на хвилину $\left(v_{\text{равл}} = 20 \frac{\text{см}}{\text{хв}} \right)$ тощо.

Для розв'язування задач слід навчитися переводити швидкість руху, подану в одних одиницях, в інші. Наведемо приклад.

Швидкість руху автомобіля — 36 км/год. Щоб подати її в метрах на секунду, згадаємо, що 1 год = 3600 с, а 1 км = 1000 м. Тоді:

$$36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{36 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Спробуйте самостійно подати в метрах на секунду швидкості руху ракети й равлика.

4 Знаходимо шлях і час руху тіла

Звернемося до формули, за якою визначають швидкість руху тіла:

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

Якщо перейти на мову математики, то тут v — частка, l — ділене, t — дільник. Оскільки ділене дорівнює добутку частки на дільник, то, щоб знайти шлях l — ділене, слід швидкість руху v — частку помножити на час t — дільник:

$$l = vt$$

Міркуючи аналогічно, маємо: щоб знайти час t — дільник, слід шлях l — ділене поділити на швидкість руху v — частку:

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

Інколи для знаходження шляху, швидкості або часу руху тіла зручно скористатися «чарівним трикутником» (рис. 9.4).

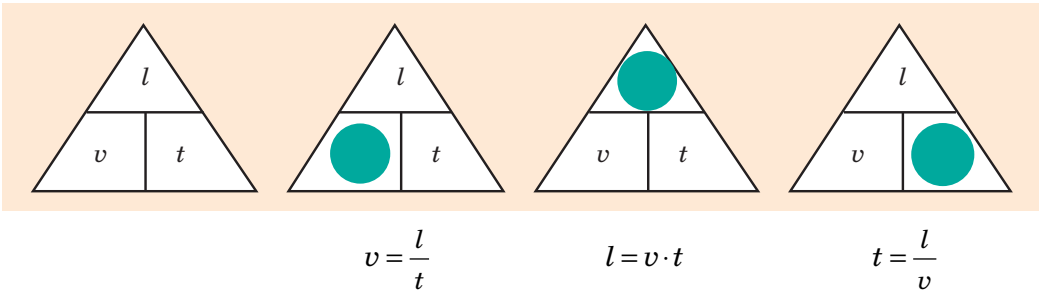
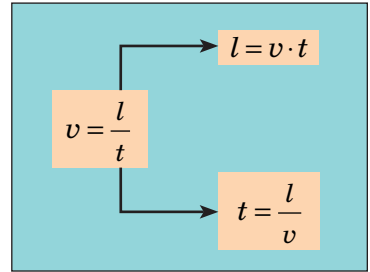


Рис. 9.4. Закривши пальцем символ шуканої величини (позначення шляху, часу або швидкості руху), отримаємо формулу для її визначення

5 Учимося розв'язувати задачі

Фізичні задачі слід уміти розв'язувати насамперед для того, щоб, використовуючи знання з фізики, відповідати на практичні запитання. А крім того, розв'язуючи задачі, ви будете краще знати й розуміти фізику.

Простежимо основні етапи розв'язування задач. Зверніть увагу: записуючи розв'язання задач у зошиті, частину міркувань ви будете здійснювати усно, а певні етапи — об'єднувати.

Задача 1. Припустимо, що до початку уроків залишилось 15 хвилин. Ви знаєте, що відстань від вашого дому до школи становить 1800 м. Чи прийдете ви своєчасно, якщо будете йти зі швидкістю 36 км/год? З якою швидкістю вам слід рухатися, щоб не запізнитись?

Аналіз фізичної проблеми. У задачі треба знайти: 1) час t_1 руху до школи із зазначеною швидкістю v_1 ;

2) швидкість v_2 , з якою слід рухатися, щоб витратити на шлях не більше ніж 15 хв ($t_2 = 15$ хв).

Будемо вважати, що рух рівномірний.

Швидкість руху надана в $\frac{\text{км}}{\text{год}}$, а шлях — в одиницях СІ. Подамо час і значення швидкості в одиницях СІ:

$$3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{3,6 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} ;$$

$$15 \text{ хв} = 15 \cdot 60 \text{ с} = 900 \text{ с}.$$

Закінчивши аналіз, запишемо коротку умову задачі.

Дано:

$$l = 1800 \text{ м}$$

$$v_1 = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t_2 = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с}$$

Знайти:

$$t_1 — ?$$

$$v_2 — ?$$

Пошук математичної моделі. Рух рівномірний, тому скористаємося формулою для розрахунку швидкості рівномірного руху: $v = \frac{l}{t}$.

Розв'язання. Знайдемо вирази для шуканих величин:

$$v_1 = \frac{l}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{l}{v_1}; \quad v_2 = \frac{l}{t_2}.$$

Перевіримо одиниці шуканих величин:

$$[t_1] = \text{м} : \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \text{с}; \quad v_2 = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначимо числове значення шуканих величин:

$$t_1 = \frac{1800}{1} = 1800 \text{ (с)}; \quad t_1 = 30 \text{ хв}.$$

Зверніть увагу! Для отримання відповіді у вираз для шуканої величини можна відразу підставляти і числові значення, і одиниці відомих величин:

1-й етап

Аналіз фізичної проблеми

1. Уважно читаємо умову задачі, з'ясуємо, яка фізична ситуація розглядається, про які фізичні величини йдеться.

2. Визначаємо, в яких одиницях будемо розв'язувати задачу. Зазвичай задачі розв'язують в одиницях СІ.

3. Якщо необхідно, виконуємо пояснювальний рисунок. Часто саме рисунок допомагає краще розібратися в задачі.

4. Записуємо коротку умову задачі. Зліва, після слова «Дано», записуємо символи наданих в умові фізичних величин і їхні значення в обраних одиницях. Після слова «Знайти» записуємо символи фізичних величин, які слід знайти в задачі.

2-й етап

Пошук математичної моделі

1. У фізиці будь-якому розрахунку передують запис формули, тому справа від слова «Дано» записуємо рівняння, які пов'язують фізичні величини, що характеризують наявне в задачі фізичне явище або фізичне тіло.

2. Ураховуємо конкретні умови фізичної ситуації, описаної в задачі, шукаємо додаткові параметри.

$$t_1 = \frac{1800 \text{ м}}{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{1800 \text{ м} \cdot \text{с}}{1 \text{ м}} = 1800 \text{ с} = 30 \text{ хв};$$

$$v_2 = \frac{1800 \text{ м}}{900 \text{ с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Аналіз результатів. Рухаючись зі швидкістю $3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, ви напевне не встигнете до початку уроку; одержане значення часу руху є цілком правдоподібним.

Відповідь: час руху до школи зі швидкістю $3,6 \text{ км/год}$ становить $t = 30 \text{ хв}$; щоб не запізнитися, слід бігти зі швидкістю, яка не менша ніж $v = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Задача 2. Уздовж перону їде електричка зі швидкістю $8 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. По вагону в напрямку, протилежному напрямку руху електрички, йде хлопчик. Назустріч хлопчику йде його батько. З якими швидкостями відносно перону рухаються батько і хлопчик, якщо відносно електрички вони рухаються зі швидкостями $3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ і $2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ відповідно?

Аналіз фізичної проблеми

Виконаємо схематичний рисунок, на якому позначимо напрямки швидкостей руху електрички ($\vec{v}_{\text{ел}}$), батька ($\vec{v}_{\text{б відн}}$) та хлопчика ($\vec{v}_{\text{хл відн}}$).

Задачу будемо розв'язувати в поданих одиницях.

Дано:

$$v_{\text{ел}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_{\text{б відн}} = 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_{\text{хл відн}} = 2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_{\text{б}} \text{ — ?}$$

$$v_{\text{хл}} \text{ — ?}$$

Пошук математичної моделі, розв'язання. Батько рухався в напрямку руху електрички, тому швидкість $v_{\text{б}}$ його руху відносно перону дорівнює:

$$v_{\text{б}} = v_{\text{ел}} + v_{\text{б відн}}.$$

Хлопчик рухався в протилежному напрямку, тому швидкість руху хлопчика ($v_{\text{хл}}$) відносно перону становить: $v_{\text{хл}} = v_{\text{ел}} - v_{\text{хл відн}}$.

Обчислимо значення шуканих величин:

$$v_{\text{б}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{год}} + 3 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 11 \frac{\text{км}}{\text{год}}; \quad v_{\text{хл}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{год}} - 2 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

3-й етап

Розв'язання та аналіз одержаних результатів

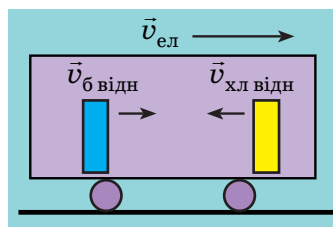
1. Розв'язуємо рівняння відносно невідомої величини.

2. Перевіряємо одиниці шуканої величини. Для цього в отриману формулу підставляємо лише одиниці, без числових значень. Якщо отримано зовсім іншу одиницю (наприклад, отримали, що час вимірюється в кілограмах), шукаємо помилку.

3. Виконуємо необхідні обчислення й аналізуємо результат, насамперед — на рівні здорового глузду (наприклад, шлях від школи додому навряд чи буде подоланий за добу або за 1 с).

4-й етап

Записуємо відповідь



Аналіз результатів. Отримані значення відносних швидкостей руху батька та хлопчика є правдоподібними.

Відповідь: відносно перону батько рухається зі швидкістю $11 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, хлопчик — зі швидкістю $6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.



Підбиваємо підсумки

Рівномірний рух — це механічний рух, у ході якого за будь-які рівні інтервали часу тіло проходить однаковий шлях.

Швидкість рівномірного руху — це фізична величина, що дорівнює відношенню шляху, який пройшло тіло, до інтервалу часу, протягом якого цей шлях був пройдений: $v = \frac{l}{t}$.

Одиницею швидкості руху в СІ є метр на секунду (м/с). Спідометр — прилад для прямого вимірювання швидкості руху

Окрім значення швидкості руху має напрямок. Напрямок і значення швидкості руху тіла залежать від вибору системи відліку.



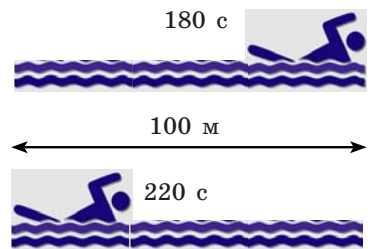
Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним? Наведіть приклади. **2.** Як знайти швидкість рівномірного руху тіла? **3.** Назвіть одиниці швидкості руху. **4.** Спідометри автомобілів проградуєвані в кілометрах на годину. Як перевести одиниці швидкості з кілометрів на годину в метри на секунду? **5.** Як обчислити шлях, пройдений тілом, якщо відомі швидкість його руху та час руху? **6.** Як обчислити час руху, якщо відомі шлях і швидкість руху тіла?



Вправа № 9

- За 10 с тіло пододало 100 м, за наступні 10 с — ще 100 м. Чи можна стверджувати, що тіло рухається рівномірно?
- Яка швидкість руху більша: 16 м/с чи 54 км/год?
- Вважаючи рух плавців рівномірним (див. рисунок), визначте швидкість руху кожного плавця.
- Швидкість руху літака становить 900 км/год. Скільки часу витратить літак, щоб подолати 378 км?



- Судно йде рівномірно зі швидкістю 7,5 м/с. Який шлях подолає судно за 2 години?
- Складіть задачу, обернену до попередньої, та розв'яжіть її.
- Автовантажувач рухається вздовж ряду контейнерів. Контейнери, завдовжки 12 м кожний, стоять упритул один до одного. З якою швидкістю їде автовантажувач, якщо повз 5 контейнерів він проїжджає за 1 хв?
- В астрономії існує одиниця довжини *світловий рік*, яку застосовують для визначення міжзоряних відстаней. Один світловий рік дорівнює відстані, яку долає світло у вакуумі за 1 рік. Подайте цю відстань у кілометрах, вважаючи, що швидкість поширення світла у вакуумі дорівнює 300 000 км/с.

9. Під час змагань з бігу перший учень пробіг 10 хв зі швидкістю 12 км/год, другий — 5 км за півгодини, третій — 4 км зі швидкістю 12,5 км/год. Хто з учнів рухався найшвидше? Хто подолав найбільшу відстань? Хто біг довше за всіх?
10. Хлопчик, рухаючись із незмінною швидкістю, подолав відстань від свого будинку до шкільного стадіону за 1,5 хв. На зворотний шлях хлопчик витратив 70 с. Куди хлопчик рухався швидше — до стадіону чи додому? У скільки разів швидше?
11. Уздовж дороги дме вітер зі швидкістю 5 м/с. По дорозі в протилежних напрямках їдуть два велосипедисти: перший — зі швидкістю 18 км/год назустріч вітру, другий — зі швидкістю 24 км/год в напрямку вітру. Якою є швидкість вітру відносно велосипедистів?
12. Перший потяг їде зі швидкістю 20 м/с, а назустріч йому по сусідній колії рухається другий потяг — зі швидкістю 36 км/год. Скільки часу потяги будуть проїжджати один повз одного, якщо перший потяг має довжину 900 м, а другий — 600 м?
13. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою та підготуйте презентацію про швидкість руху в живій природі або про швидкість руху сучасних транспортних засобів. Зробіть коротке повідомлення.
14. Подайте в метрах на секунду: 18 км/год, 1080 км/год, 0,72 км/год; подайте в кілометрах на годину: 2 м/с; 30 км/хв; 20 м/с.



Експериментальне завдання

«Гроза». Припустимо, що під час подорожі ви побачили спалахи блискавки та почули десь далеко гуркіт грому. Ви хочете дізнатися, чи не загрожує вам гроза. Які виміри та розрахунки вам слід провести, щоб відповісти на це запитання? *Підказка:* вважайте, що світло від спалаху блискавки досягає ваших очей миттєво; швидкість поширення звуку в повітрі дорівнює приблизно 340 м/с.

§ 10. ГРАФІКИ РІВНОМІРНОГО РУХУ

Спортсмен, велосипед якого має спідометр, рухається по треку (рис. 10.1). Швидкість руху, яку показує спідометр у будь-який момент часу, дорівнює 5 м/с. Як можна описати рух цього спортсмена і взагалі будь-якого тіла за допомогою графіків? З'ясуємо.

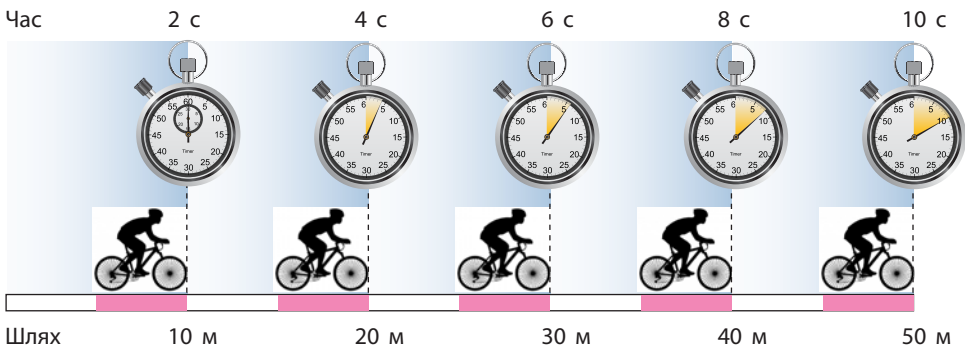


Рис. 10.1. Велосипедист рухається рівномірно: за будь-які рівні інтервали часу він долає однакові відстані

1 Будуємо графік швидкості руху

Отримаємо графік залежності швидкості руху велосипедиста (див. рис. 10.1) від часу спостереження — графік швидкості руху.

1) Проведемо дві взаємно перпендикулярні осі (див. рис. 10.2). На горизонтальній осі відкладемо час руху велосипедиста в секундах; позначимо цю вісь t, c — це буде *вісь часу*. На вертикальній осі відкладемо швидкість руху велосипедиста в метрах на секунду; позначимо цю вісь $v, \frac{m}{c}$ — це буде *вісь швидкості*.

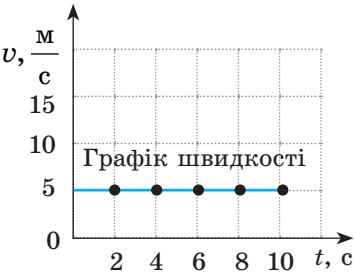


Рис. 10.2. Графік залежності швидкості руху від часу для велосипедиста, який рухається рівномірно зі швидкістю $v = 5$ м/с. Час спостереження $t = 10$ с

2) На кожній осі задамо *одиничні відрізки*. На осі часу за одиничний відрізок обрано 2 с, а на осі швидкості руху — 5 м/с.

3) Для кожного заданого моменту часу будуємо точку, яка на вертикальній осі відповідає швидкості руху велосипедиста в цей момент часу. Усі точки будуть розташовані на однаковій висоті над віссю часу, оскільки в будь-який момент часу швидкість руху велосипедиста становила 5 м/с.

4) З'єднаємо отримані точки лінією.

У разі *рівномірного руху графік швидкості руху* — відрізок прямої, паралельної осі часу.

Поміркуйте: чи обов'язково графік швидкості рівномірного руху будувати за точками?

2 З'ясуємо, про що можна дізнатися за графіком швидкості руху тіла

Розглянемо графік залежності швидкості руху слона від часу спостереження (рис. 10.3, а) і спробуємо якнайбільше дізнатися про рух тварини.

1) Можна дізнатися, як рухався слон. Кожна ділянка графіка відповідає рівномірному руху слона, оскільки графік швидкості його руху — це відрізки прямих, паралельних осі часу. Отже, і протягом інтервалу часу від 0 до 5 с, і протягом інтервалу часу від 5 до 15 с слон рухався рівномірно.

2) Можна стверджувати, що перші 5 с слон рухався повільно, а потім значно збільшив швидкість свого руху: перша ділянка графіка розташована ближче до осі часу, ніж друга (рис. 10.3, б).

3) Можна визначити швидкість руху слона, подовживши графіки до перетину з віссю швидкості (див. рис. 10.3, в):

$$v_1 = 3 \text{ м/с} \text{ — на інтервалі часу від } 0 \text{ до } 5 \text{ с;}$$

$$v_2 = 9 \text{ м/с} \text{ — на інтервалі часу від } 5 \text{ до } 15 \text{ с.}$$

4) Можна знайти шлях, який подолав слон за заданий інтервал часу. Наприклад, за інтервал часу від 0 до 5 с слон подолав 15 м:

$$l_1 = v_1 t_1 = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} = 15 \text{ м.}$$

Цей шлях чисельно дорівнює площі заштрихованого прямокутника (рис. 10.3, в):

$$S = a \cdot b = 5 \cdot 3 = 15.$$

Спробуйте довести, що шлях, який подолав слон за інтервал часу від 5 до 15 с, чисельно дорівнює площі заштрихованого прямокутника на рис. 10.3, г, а також знайти шлях, який подолав слон за весь час спостереження.

3 Будуємо графік залежності шляху від часу для рівномірного руху

Згадаємо велосипедиста, який рухався рівномірно зі швидкістю 5 м/с (див. рис. 10.1). Шлях, який долає велосипедист, можна визначити за формулою: $l = v \cdot t$. Оскільки в будь-який момент часу $v = 5$ м/с, можна записати: $l = 5t$ (м), де час t задано в секундах.

Вираз $l = 5t$ є рівнянням залежності шляху, який долає велосипедист, від часу спостереження. Побудуємо по точках графік такої залежності.

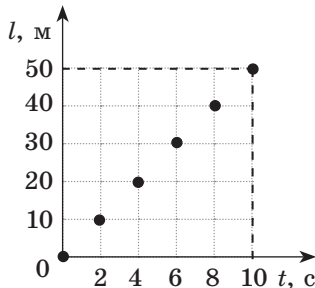
1. Визначаємо шлях l , який долає велосипедист за певний час t ; наприклад: якщо $t = 0$, то $l = 5t = 5 \cdot 0 = 0$; якщо $t = 2$ с, то $l = 5 \cdot 2 = 10$ (м) і т. д. Будуємо відповідну таблицю (рис. 10.4, а).

2. Для кожного заданого моменту часу будуємо точку, яка на вертикальній осі відповідає шляху, що його подолав велосипедист за цей час (рис. 10.4, б).

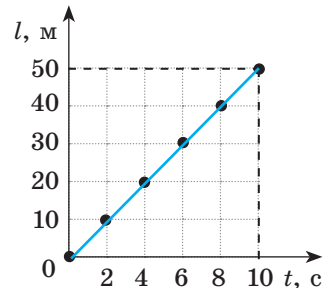
3. З'єднуємо одержані точки лінією. Отриманий відрізок прямої — графік шляху (рис. 10.4, в).

$t, \text{с}$	$l, \text{м}$
0	0
2	10
4	20
6	30
8	40
10	50

а



б



в

Рис. 10.4. Побудова графіку залежності шляху від часу для велосипедиста, який рівномірно рухається зі швидкістю 5 м/с

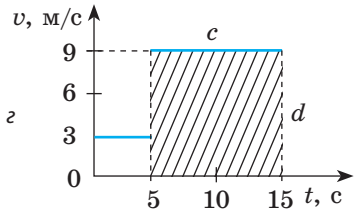
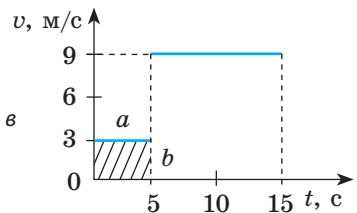
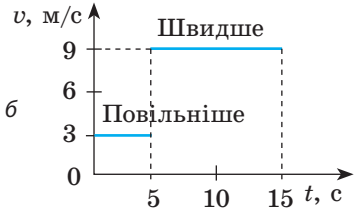
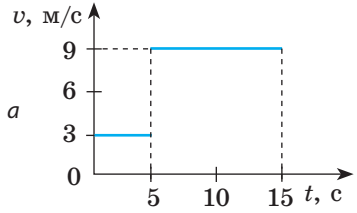


Рис. 10.3. Дослідження графіку швидкості руху тіла

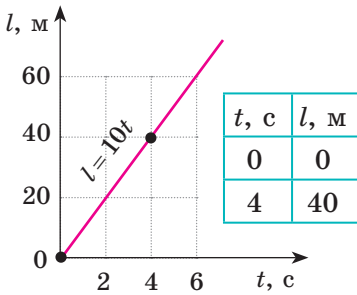


Рис. 10.5. Графік шляху для тіла, яке рухається з незмінною швидкістю 10 м/с

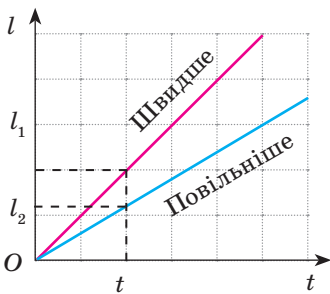


Рис. 10.6. За той самий час t тіло, яке має більшу швидкість руху, долає більший шлях ($l_1 > l_2$)

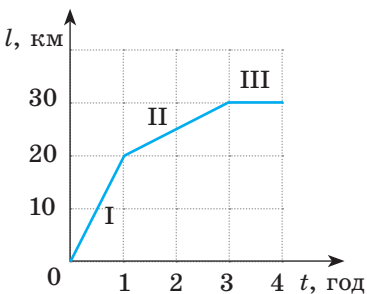


Рис. 10.7

У разі рівномірного руху графік шляху — це завжди відрізок прямої, нахиленої під певним кутом до осі часу. Тому для побудови графіка шляху досить знайти шлях l для двох довільно обраних значень часу t і через дві точки провести відрізок прямої (рис. 10.5).

4 З'ясуємо, про що можна дізнатися за графіком шляху

За графіком шляху можна:

- 1) дізнатися про характер руху тіла;
- 2) визначити шлях, який долає тіло за заданий інтервал часу;
- 3) визначити швидкість руху тіла;
- 4) порівняти швидкості руху тіл: *чим більша швидкість руху тіла, тим більший кут між графіком шляху і віссю часу* (рис. 10.6).

Розглянемо приклад.

Задача. За графіком залежності шляху, який подолав трактор за 3 години (рис. 10.7), дізнайтеся: 1) як рухався трактор; 2) який шлях подолав трактор за першу годину; за наступні 2 години; 3) якою була швидкість руху трактора на кожній ділянці.

Розв'язання

Із графіка бачимо, що весь шлях складається з трьох ділянок і на кожній трактор рухався рівномірно (графік шляху — це відрізки прямих).

Ділянка I. За графіком шлях, який подолав трактор за першу годину, дорівнює 20 км, тому швидкість руху трактора становила:

$$v_I = \frac{l_I}{t_I} = \frac{20 \text{ км}}{1 \text{ год}} = 20 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Ділянка II. За наступні 2 години трактор подолав шлях $l_{II} = 30 \text{ км} - 20 \text{ км} = 10 \text{ км}$. Відповідно швидкість руху трактора становила:

$$v_{II} = \frac{l_{II}}{t_{II}} = \frac{10 \text{ км}}{2 \text{ год}} = 5 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Ділянка III. Останню годину шлях не змінювався, отже, трактор зупинився:

$$l_{III} = 30 \text{ км} - 30 \text{ км} = 0; v = 0.$$

Аналіз результатів. Із графіка бачимо, що ділянка I графіка складає з віссю часу більший кут, ніж ділянка II. Тому ділянка I відповідає більшій швидкості руху трактора. Результат є цілком реальним.

Відповідь: на перших двох ділянках трактор рухався рівномірно; за першу годину трактор подолав шлях 20 км зі швидкістю 20 км/год; за наступні 2 год трактор подолав 10 км, рухаючись зі швидкістю 5 км/год; останню годину трактор перебував у стані спокою.



Підбиваємо підсумки

Якщо тіло рухається рівномірно, то графік швидкості його руху — це відрізок прямої, паралельної осі часу.

За графіком швидкості руху можна: 1) дізнатися про характер руху тіла; 2) визначити шлях, який пройшло тіло за заданий інтервал часу: числове значення шляху дорівнює числовому значенню площі фігури під графіком; 3) визначити та порівняти швидкості руху тіл: чим більша швидкість руху тіла, тим вище відносно осі часу t розташований цей графік.

У разі рівномірного руху графік шляху — це завжди відрізок прямої, нахиленої під певним кутом до осі часу.

За графіком шляху можна: 1) дізнатися про характер руху тіла; 2) знайти шлях, який долає тіло за будь-який інтервал часу; 3) визначити та порівняти швидкості руху тіл: чим більша швидкість руху тіла, тим більший кут між графіком шляху і віссю часу.



Контрольні запитання

1. Який вигляд мають графіки швидкості рівномірного руху тіл? 2. Як порівняти швидкості руху тіл за поданими графіками? 3. Як за графіком швидкості руху тіла обчислити шлях, пройдений тілом? 4. Який вигляд має графік залежності шляху від часу для рівномірного руху? 5. Як за графіками шляхів двох тіл порівняти швидкості їхнього руху?



Вправа № 10

1. За поданими на рис. 1 графіками швидкості руху трьох тіл з'ясуйте, як рухались ці тіла; яке тіло рухалося найшвидше.
2. Ягуар, наздоганяючи добич, може короткий час рухатися зі швидкістю 25 м/с. Побудуйте графік швидкості руху ягуара за 5 с спостереження. Покажіть на графіку шлях, який долає ягуар за цей час, і визначте цей шлях.
3. На рис. 2 зображені графіки шляхів для пішохода, велосипедиста й трактора, які рухаються зі швидкостями 4, 12 і 24 км/год відповідно. Який із зображених графіків якому тілу відповідає? Побудуйте графіки залежності швидкості руху зазначених тіл від часу спостереження.

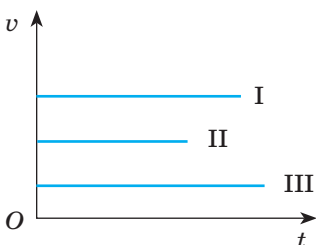


Рис. 1

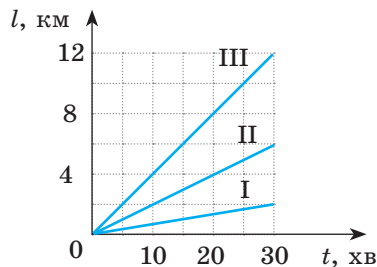


Рис. 2

4. Розгляньте графік швидкості руху тіла (рис. 3) і дізнайтесь: а) як рухалось тіло; б) якою була швидкість руху тіла на кожній ділянці; в) який шлях пройшло тіло.
5. Розгляньте графік польоту орла (рис. 4) і визначте: а) який шлях подолав орел за час спостереження; б) скільки часу орел відпочивав; в) яку відстань подолав орел за перші 25 с спостереження. Побудуйте графік залежності швидкості руху орла від часу спостереження.
6. Придумайте графічну задачу на рух із життя ваших улюблених героїв мультфільмів, розв'яжіть її та оформте на окремому аркуші.
7. Із рівняння $x = a + bt$ знайдіть: а) x , якщо $a = 10$, $t = 4$; б) a , якщо $x = 5$, $t = 2$; в) t , якщо $x = -4$, $a = -16$.

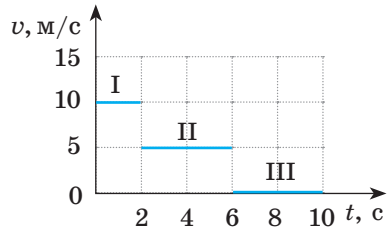


Рис. 3

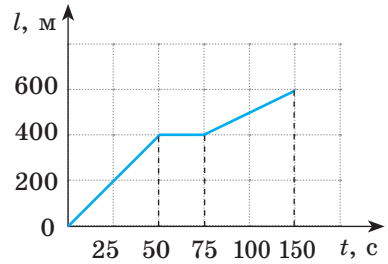


Рис. 4



§ 11. РІВНОМІРНИЙ ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РУХ. РІВНЯННЯ РУХУ

Уявіть: спочатку автомобіль рухається з незмінною швидкістю прямолінійним відрізком дороги, а потім — криволінійною трасою. Чи є різниця в русі автомобіля? Авжеж, є. У першому випадку швидкість руху автомобіля не змінюється ані за значенням, ані за напрямком. У другому випадку швидкість руху автомобіля змінюється за напрямком. У цьому параграфі дослідимо перший випадок руху.

1 Вивчаємо рівномірний прямолінійний рух

Якщо автомобіль рівномірно рухатиметься прямолінійною ділянкою дороги, то за рівні інтервали часу він буде долати однаковий шлях і здійснювати однакове переміщення (рис. 11.1). Такий рух називають *рівномірним прямолінійним*.

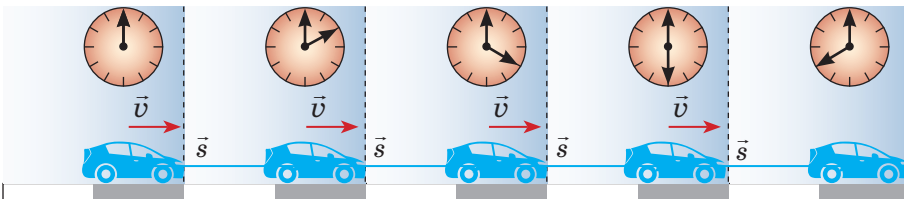


Рис. 11.1. Автомобіль, який рухається рівномірно прямолінійно, за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення

Рівномірний прямолінійний рух — це механічний рух, у ході якого за будь-які рівні інтервали часу тіло здійснює однакові переміщення.

Прикладами рівномірного прямолінійного руху можуть бути рух автомобіля на прямолінійній ділянці дороги (без розгону та гальмування), стабільне падіння кульки в рідині, політ парашутиста через певний час після розкриття парашута.

Швидкість \vec{v} рівномірного прямолінійного руху тіла — це фізична величина, що дорівнює відношенню переміщення \vec{s} , яке здійснило тіло, до часу t , протягом якого це переміщення було здійснене:

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

Зверніть увагу!

1. Стрілки над позначками переміщення та швидкості означають, що ці величини мають напрямок. *Переміщення та швидкість руху завжди напрямлені в один бік.*

2. Під час рівномірного прямолінійного руху тіло весь час рухається в одному напрямку, тому модуль переміщення s дорівнює шляху l , який пододало тіло:

$$s = l,$$

а значення швидкості руху можна визначити за будь-якою з формул:

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{або} \quad v = \frac{l}{t}$$

2 Записуємо рівняння руху

Уявіть, що ви спостерігаєте за автомобілем, який рухається прямолінійним шосе з незмінною швидкістю $v = 20$ м/с. Вважаючи автомобіль матеріальною точкою, з'ясуємо, як визначити координату автомобіля в будь-який момент часу.

Передусім оберемо систему відліку. Автомобіль рухається прямолінійно, тому достатньо задати лише одну вісь координат (позначимо її OX), яку пов'яжемо із шосе (рис. 11.2).

Припустимо, що в момент початку спостереження ($t = 0$) автомобіль перебував у точці з координатою $x_0 = 100$ м. Визначимо координату x автомобіля, наприклад, через $t = 25$ с після початку спостереження.

Автомобіль увесь час рухається зі швидкістю $v = 20$ м/с, тому за 25 с він переміститься на відстань:

$$s = vt = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 25 \text{ с} = 500 \text{ м}.$$

При цьому координата x автомобіля збільшиться на 500 м:

$$x = x_0 + s = 100 \text{ м} + 500 \text{ м} = 600 \text{ м}.$$

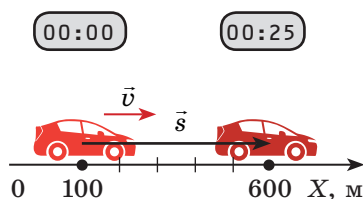


Рис. 11.2. Для опису руху автомобіля прямолінійною ділянкою шосе досить задати тільки одну вісь координат

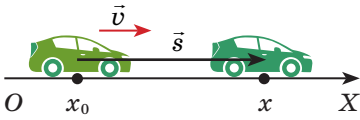


Рис. 11.3. Якщо напрямок осі координат збігається з напрямком руху тіла, рівняння координати тіла має вигляд: $X = X_0 + vt$

Якщо напрямок руху тіла збігається з напрямком осі координат (рис. 11.3), то для визначення координати x тіла через певний час t треба до початкової координати x_0 додати значення переміщення, яке здійснило тіло за цей час:

$$x = x_0 + s, \text{ або } x = x_0 + vt.$$

Рівняння $x = x_0 + vt$ є рівнянням рівномірного прямолінійного руху тіла (рівнянням координати). Наприклад, рівняння координати автомобіля, рух якого ми розглядали вище, має вигляд*:

$$x = 100 + 20t,$$

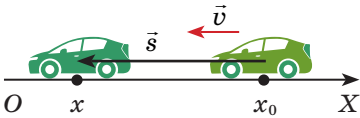


Рис. 11.4. Якщо тіло рухається рівномірно прямолінійно в напрямку, протилежному осі координат, то рівняння координати має вигляд: $X = X_0 - vt$

оскільки $x_0 = 100$ м (початкова координата), $v = 20$ м/с (швидкість руху автомобіля), а напрямок осі OX збігається з напрямком руху автомобіля.

Якщо тіло рухається в напрямку, протилежному напрямку осі координат (рис. 11.4), то для визначення координати тіла через певний час t слід від початкової координати відняти значення переміщення:

$$x = x_0 - s, \text{ або } x = x_0 - vt$$

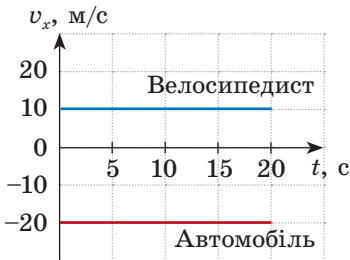


Рис. 11.5. Графіки швидкостей руху автомобіля та велосипедиста, які рухаються назустріч один одному на прямолінійній ділянці дороги. Швидкість руху автомобіля — 20 м/с, велосипедиста — 10 м/с, час спостереження — 20 с

3 Будемо графік швидкості рівномірного прямолінійного руху тіла

Рівномірний прямолінійний рух є окремим випадком рівномірного руху, тому графік швидкості рівномірного прямолінійного руху — це відрізок прямої, яка паралельна осі часу.

Якщо напрямок руху тіла збігається з напрямком осі OX , то графік його швидкості розташовують вище від осі часу; якщо тіло рухається в напрямку, протилежному напрямку осі OX , то графік його швидкості розташовують нижче від осі часу (рис. 11.5).

Чим швидше рухається тіло, тим далі від осі часу розташований графік швидкості його руху.

* У рівняннях координати будемо записувати тільки числові значення початкової координати і швидкості руху. Значення цих фізичних величин подаватимемо в одиницях СІ.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача 3. Озером назустріч один одному рухаються два катери. На початок спостереження відстань між катерами становила 1500 м, швидкість руху першого катера дорівнювала $36 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, другого — $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Через який час зустрінуться катери? Яку відстань подолає перший катер до зустрічі?

Перший спосіб

Дано:

$$v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

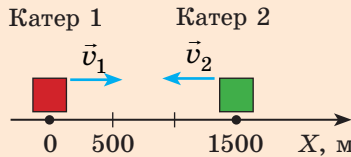
$$v_2 = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l = 1500 \text{ м}$$

t — ?
 x — ?

Аналіз фізичної проблеми.

Виконаємо рисунок. Вісь OX напрямимо в напрямку руху катера 1, а початок координат оберемо в точці його розташування. Бачимо, що $x_{01} = 0$, а $x_{02} = 1500$ м.



Пошук математичної моделі, розв'язання. Запишемо рівняння руху для кожного катера.

Катер 1 рухається в напрямку осі OX , тому $x_1 = x_{01} + v_1 t$. Враховуючи, що $x_{01} = 0$, а $v_1 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, отримуємо $x_1 = 10t$ (м).

Катер 2 рухається в напрямку, протилежному напрямку осі OX , тому $x_2 = x_{02} - v_2 t$.

$$x_{02} = 1500 \text{ м}, v_2 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$\text{отже, } x_2 = 1500 - 15t \text{ (м).}$$

На момент зустрічі координати катерів будуть однаковими:

$$x_1 = x_2 \Rightarrow 10t = 1500 - 15t.$$

Із останнього рівняння знайдемо час зустрічі катерів:

$$10t + 15t = 1500 \Rightarrow 25t = 1500 \Rightarrow t = 60 \text{ с.}$$

Обчислимо координату катера 1 на момент зустрічі:

$$x_1 = 10t = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 60 \text{ с} = 600 \text{ м.}$$

Другий спосіб

Дано:

$$v_1 = 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_2 = 54 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l = 1500 \text{ м}$$

 $t = ?$ $x = ?$

Аналіз фізичної проблеми. Обидва катери рухаються назустріч один одному. Це означає, що вони наближаються один до одного зі швидкістю $v = v_1 + v_2$ і з цією швидкістю долають відстань $l = 1500$ м. Це дозволить визначити, через який час катери зустрінуться.

Пошук математичної моделі, розв'язання. Оскільки $t = \frac{l}{v}$, а $v = v_1 + v_2$, отримуємо: $t = \frac{l}{v} = \frac{l}{v_1 + v_2}$.

$$\text{Знайдемо час зустрічі катерів: } t = \frac{1500 \text{ м}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{1500 \text{ м}}{25 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 60 \text{ с.}$$

Визначимо шлях, який пройшов катер 1 за цей час:

$$l_1 = v_1 t = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 60 \text{ с} = 600 \text{ м.}$$

Аналіз результатів. Катер 1 рухався повільніше, ніж катер 2; до моменту зустрічі катер 1 пройде 600 м, другий — 900 м. Результат є цілком реальним.

Відповідь: катери зустрінуться через 60 с; перший катер пройде до зустрічі 600 м.



Підбиваємо підсумки

Рівномірний прямолінійний рух — це такий рух, у ході якого за будь-які рівні інтервали часу тіло здійснює однакові переміщення.

Швидкість рівномірного прямолінійного руху тіла — це фізична величина, що дорівнює відношенню переміщення \vec{s} , яке здійснило тіло, до часу, протягом якого це переміщення було здійснене: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$.

Напрямок швидкості рівномірного прямолінійного руху тіла збігається з напрямком його переміщення. Значення швидкості руху знаходять за формулою:

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

Якщо напрямок осі координат збігається з напрямком руху тіла, рівняння рівномірного прямолінійного руху цього тіла має вигляд: $x = x_0 + s$, або $x = x_0 + vt$.

Якщо напрямок осі координат протилежний напрямку руху тіла, рівняння рівномірного прямолінійного руху цього тіла має вигляд: $x = x_0 - s$, або $x = x_0 - vt$.



Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним прямолінійним? **2.** Дайте визначення швидкості рівномірного прямолінійного руху тіла. Як знайти значення цієї швидкості?

3. Запишіть рівняння координати для тіла, яке рухається прямолінійно рівномірно, а напрямком його руху: а) збігається з напрямком осі координат; б) є протилежним напрямку осі координат.



Вправа № 11

- Куля рухалася рівномірно прямолінійно зі швидкістю 500 м/с. Визначте шлях та переміщення кулі за 0,2 с.
- Літак, рухаючись прямолінійно рівномірно, через якийсь час опинився в точці з координатою 2500 м. Визначте початкову координату літака, якщо він рухався в напрямку, протилежному напрямку осі OX , а його переміщення становило 1,5 км.
- Катер рухається прямим каналом з незмінною швидкістю 2,5 м/с у напрямку, протилежному напрямку осі OX . Початкова координата катера становила 500 м. Запишіть рівняння координати катера. Визначте координату катера через 0,5 год після початку спостереження.
- Рівняння координати човна має вигляд: $x = 5 + 4t$, усі величини в рівнянні подані в одиницях СІ. Визначте: а) швидкість руху човна; б) початкову координату човна; в) координату човна через 2 с після початку спостереження.
- Розгляньте графіки швидкостей руху тіл (рис. 1). Зважаючи, що тіла рухались уздовж осі OX на прямолінійній ділянці дороги:
 - опишіть, як рухалися тіла;
 - запишіть рівняння координати для кожного тіла, якщо початкова координата мотоцикла 200 м, трактора — 800 м.
- Скориставшись даними рис. 2:
 - зазначте початкові координати автомобіля, пішохода та велосипедиста;
 - запишіть рівняння координати для кожного тіла;
 - знайдіть положення кожного тіла через 10 с після початку спостереження;
 - визначте, через який час автомобіль і пішохід зустрінуться;
 - дізнайтеся, через який час автомобіль дожене велосипедиста.

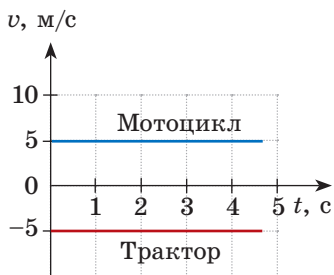


Рис. 1

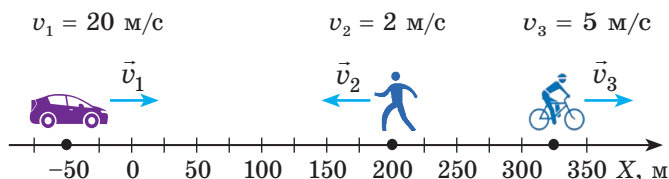
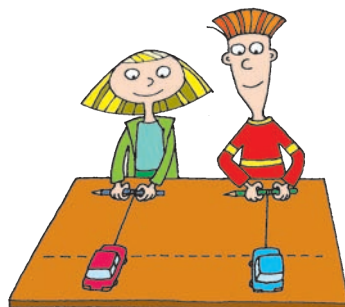


Рис. 2



Експериментальне завдання

«Автомобільні перегони». Влаштуйте з друзями перегони іграшкових автомобілів. Для цього до кожного іграшкового автомобіля прив'яжіть нитку. Другий кінець нитки закріпіть на олівці. Рухайте автомобілі, обертаючи олівець (див. рисунок). Хто найшвидше пройде трасу? Якою є швидкість руху кожного автомобіля? Які прилади вам потрібні, щоб це визначити? Чи можете ви визначити положення автомобілів у будь-який момент їхнього руху?



§ 12. НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

Напевне, вам доводилося їхати автобусом або потягом із одного міста до іншого. Згадайте: транспортний засіб час від часу гальмує, зупиняється, потім знову набирає швидкість... Стрілка спідометра весь час коливається і тільки іноді завмирає на місці. Чи можна назвати такий рух рівномірним? Звичайно, ні. А як називають такий рух? Як його описати? Дізнаємось із цього параграфа.



Рис. 12.1. Автобус рухається нерівномірно, час від часу гальмуючи, зупиняючись і знову розганяючись

1 Спостерігаємо нерівномірний рух

У повсякденному житті ми зазвичай маємо справу з *нерівномірним рухом*. Так, нерівномірним є рух автобуса (рис. 12.1) та інших транспортних засобів, рух тіл, що падають, рух спортсменів на біговій доріжці. А ще згадайте, наприклад, як котиться м'яч, як ви рухаєтесь під час прогулянки, на уроках фізкультури тощо.

Нерівномірний рух — це рух, під час якого тіло за рівні інтервали часу проходить різний шлях.

Спробуйте навести свої приклади нерівномірного руху в повсякденному житті.

Зверніть увагу! Під час нерівномірного руху значення швидкості руху тіла з часом змінюється.

Тепер можемо класифікувати *види механічного руху* (див. таблицю):

- за формою траєкторії — прямолінійний, криволінійний;
- за залежністю швидкості руху від часу — рівномірний, нерівномірний.

Види механічного руху			
за формою траєкторії		за залежністю швидкості руху від часу	
прямолінійний	криволінійний	рівномірний	нерівномірний
			
Траєкторія руху — пряма лінія	Траєкторія руху — крива лінія	Значення швидкості руху тіла не змінюється з часом	Значення швидкості руху тіла змінюється з часом

2 **Визначаємо середню швидкість руху тіла**

Припустимо, що потяг пройшов 150 км (відстань між двома станціями) за 2,5 год. Якщо поділити 150 км на 2,5 год, отримаємо швидкість руху потяга — 60 км/год. Але ж потяг рухався нерівномірно! У такому випадку говорять, що отримано *середню швидкість руху* потяга (рис. 12.2).



Рис. 12.2. Середня швидкість руху потяга — відношення відстані між початковою і кінцевою станціями до всього часу руху

Середня швидкості руху тіла $v_{\text{сеп}}$ — це фізична величина, що дорівнює відношенню всього шляху l , який пройшло тіло, до інтервалу часу t , за який цей шлях пройдено:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}$$

Зверніть увагу! Увесь час руху — це сума часу руху тіла та часу, витраченого на можливі зупинки в ході цього руху.

3 **Аналізуємо графіки швидкості та шляху для нерівномірного руху тіла**

Графіки зручно використовувати й для опису нерівномірного руху тіл. Розгляньте графік швидкості нерівномірного руху (рис. 12.3).

Ви вже працювали з такими графіками, тому сподіваємось, що вам не складно описати, як рухалось тіло.

Графік шляху того самого тіла матиме вигляд ламаної лінії (рис. 12.4).

Перші 5 с тіло рухалось рівномірно, тому графік його шляху — відрізок прямої лінії. За цей час тіло пройшло шлях 100 м:

$$l_1 = v_1 t_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} = 100 \text{ м.}$$

За наступні 15 с тіло, рухаючись рівномірно, пододало ще 150 м:

$$l_2 = v_2 t_2 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 15 \text{ с} = 150 \text{ м.}$$

Отже, за перші 20 с руху шлях тіла становив $100 \text{ м} + 150 \text{ м} = 250 \text{ м}$.

За останні 10 с спостереження тіло рухалось зі швидкістю 25 м/с, і його шлях становив 250 м:

$$l_3 = v_3 t_3 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 10 \text{ с} = 250 \text{ м.}$$

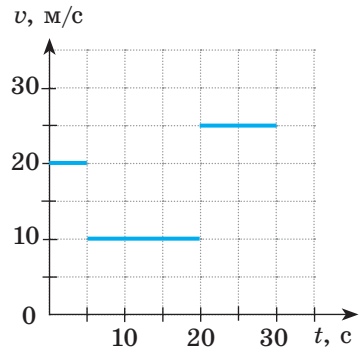


Рис. 12.3. Графік швидкості руху тіла

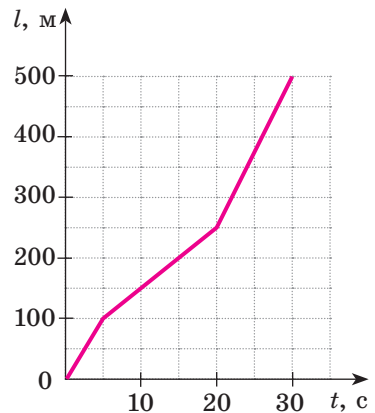
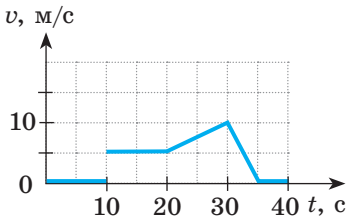
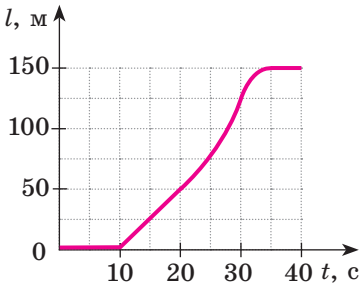


Рис. 12.4. Графік шляху тіла



а



б

Рис. 12.5. Графік швидкості (а) і графік шляху (б) для нерівномірного руху тіла

Загальний шлях, який пододало тіло за 30 с спостереження, становив 500 м:

$$100 \text{ м} + 150 \text{ м} + 250 \text{ м} = 500 \text{ м}.$$

За графіком шляху легко визначити середню швидкість руху тіла:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t} = \frac{500 \text{ м}}{30 \text{ с}} \approx 17 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Графіки швидкості та шляху для більш складного руху тіла наведені на рис. 12.5. Чи зможете ви описати, як рухалось тіло? А дізнатися, якою була середня швидкість його руху на всьому шляху?

Зверніть увагу! Шлях не може зменшуватися, тому графік шляху або піднімається, або залишається горизонтальним, однак ніколи не опускається (див. рис. 12.4, 12.5, б).

3

Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Півтори години хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 20 км/год. Потім велосипед зламався, й останній кілометр шляху хлопчик подолав пішки. Якою була середня швидкість руху хлопчика на всьому шляху, якщо пішки він ішов півгодини?

Дано:

$$t_1 = 1,5 \text{ год}$$

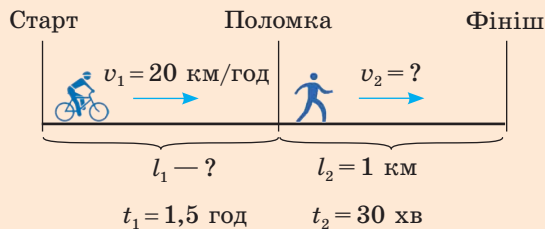
$$t_2 = 0,5 \text{ год}$$

$$v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$l_2 = 1 \text{ км}$$

$$v_{\text{сеп}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми. Виконаємо пояснювальний рисунок. Для обчислення середньої швидкості руху слід знайти шлях, який подолав хлопчик, і час його руху. Час руху надано в годинах, шлях — у кілометрах, тому середню швидкість руху знайдемо в кілометрах за годину.



Пошук математичної моделі, розв'язання. За визначенням: $v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}$. Шлях l , який подолав хлопчик, дорівнює: $l = l_1 + l_2$, де $l_1 = v_1 t_1$ — шлях, подоланий на велосипеді; l_2 — шлях, пройдений пішки.

Загальний час, витрачений на подорож: $t = t_1 + t_2$.

Підставивши вирази для l і t у формулу середньої швидкості, отримаємо:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2} = \frac{v_1 \cdot t_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[v_{\text{сеп}}] = \frac{\frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot \text{год} + \text{км}}{\text{год} + \text{год}} = \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Знайдемо значення шуканої величини:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{1,5 \cdot 20 + 1}{1,5 + 0,5} = \frac{31}{2} = 15,5 \left(\frac{\text{км}}{\text{год}} \right).$$

Аналіз результатів. Хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю

20 км/год, ішов пішки зі швидкістю $v_2 = \frac{l_2}{t_2} = 2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$; знайдена середня

швидкість його руху є меншою за 20 км/год і більшою від 2 км/год. Результат є правдоподібним.

Відповідь: середня швидкість руху хлопчика $15,5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

Задача 2. За графіком швидкості руху автомобіля визначте шлях, який пройшов автомобіль за перші 15 с, і середню швидкість руху автомобіля на цьому шляху.

Аналіз фізичної проблеми. З графіка бачимо, що швидкість руху автомобіля протягом 15 с рівномірно збільшувалася від 0 до 30 м/с.

Для визначення шляху, який пройшов автомобіль, згадаємо, що *числове значення шляху, який пододало тіло, дорівнює числовому значенню площі фігури під графіком залежності швидкості руху тіла.*

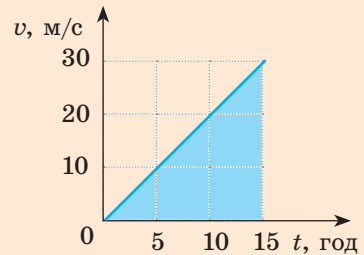
Отже, для визначення шляху, який проїхав автомобіль за 15 с, знайдемо площу заштрихованого трикутника. Знаючи шлях і час руху автомобіля, знайдемо його середню швидкість.

Пошук математичної моделі, розв'язання. Спочатку знаходимо шлях, який проїхав автомобіль. Із рисунка бачимо, що площа заштрихованого трикутника становить половину від площі прямокутника з «висотою» 30 м/с і «основою» 15 с. Площа прямокутника дорівнює добутку основи на висоту.

Таким чином, шлях, пройдений автомобілем за 15 с, становить:

$$l = \frac{1}{2} \left(15 \text{ с} \cdot 30 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) = \frac{450 \text{ м}}{2} = 225 \text{ м}.$$

Знаходимо середню швидкість руху автомобіля: $v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t} = \frac{225 \text{ м}}{15 \text{ с}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Аналіз результатів. Швидкість руху автомобіля рівномірно збільшувалася від 0 до 30 м/с; визначена середня швидкість руху дорівнює 15 м/с. Результат є правдоподібним.

Відповідь: автомобіль подолав шлях 225 м, середня швидкість його руху — 15 м/с.



Підбиваємо підсумки

Нерівномірний рух — це рух, у ході якого тіло за рівні інтервали часу проходить різний шлях.

Види механічного руху: за формою траєкторії — прямолінійний і криволінійний; за залежністю швидкості руху від часу — рівномірний і нерівномірний.

Середня швидкість руху тіла дорівнює відношенню всього шляху, який пройшло тіло, до інтервалу часу, за який цей шлях пройдено: $v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}$.



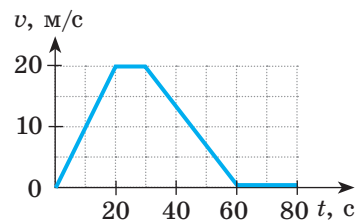
Контрольні запитання

1. Який рух називають нерівномірним? Наведіть приклади. **2.** Назвіть види механічного руху. Наведіть приклади. **3.** Дайте визначення середньої швидкості руху тіла. Як її обчислити? **4.** Як за графіком швидкості руху тіла знайти шлях, який пододало тіло за певний інтервал часу?



Вправа № 12

- Наведіть приклади: а) прямолінійного рівномірного руху; б) прямолінійного нерівномірного руху; в) криволінійного рівномірного руху; г) криволінійного нерівномірного руху.
- Хлопчик вийшов зі школи та пішов додому. Перший кілометр шляху він подолав за 0,2 год, а решту 2 км його підвіз на велосипеді друг, витративши на цей відрізок шляху 0,1 год. З якою середньою швидкістю рухався хлопчик?
- Потяг за 1 год пройшов 60 км. Потім він рухався ще 30 хв зі швидкістю 90 км/год. З якою середньою швидкістю рухався потяг?
- За графіком шляху автомобіля (див. рис. 12.5, б) визначте середню швидкість руху автомобіля: а) за перші 30 с спостереження; б) за останні 30 с спостереження; в) за весь час спостереження.
- Першу половину часу польоту літак рухався зі швидкістю 600 км/год, а решту часу — зі швидкістю 800 км/год. Знайдіть середню швидкість руху літака.
- Першу половину шляху автомобіль рухався зі швидкістю 60 км/год, а другу половину — зі швидкістю 100 км/год. Знайдіть середню швидкість руху автомобіля.
- На рисунку зображений графік руху автомобіля. Скориставшись графіком: а) опишіть, як рухався автомобіль; б) визначте шлях, який подолав автомобіль;

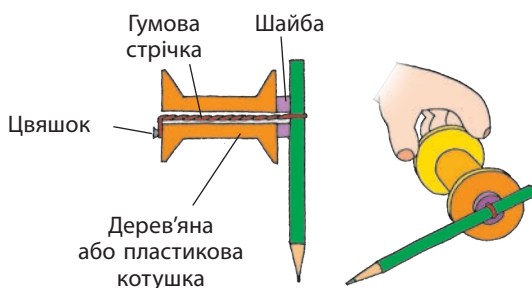


- в) дізнайтеся, скільки часу автомобіль рухався з незмінною швидкістю;
 г) визначте середню швидкість руху автомобіля за першу хвилину спостереження; за весь час спостереження;
 д) наведіть приклади, коли можна спостерігати такий рух автомобіля.
8. Знайдіть карту залізничних доріг вашої області та розклад руху будь-якої приміської електрички. Скориставшись цими даними, визначте середні швидкості руху електрички в обох напрямках слідування; між кількома проміжними станціями.

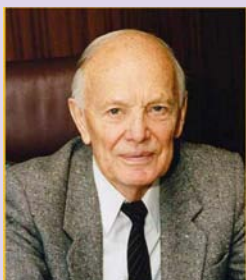


Експериментальні завдання

1. «Я у фізиці». Визначте середню швидкість, з якою ви зазвичай рухаєтесь від дому до школи.
2. «Гумовий двигун». Зробіть «гумовий двигун» (див. рисунок). За допомогою олівця закрутіть гумову стрічку та покладіть котушку на горизонтальну поверхню. Опишіть спостережуваний рух. Що можна «прочитати» зі сліду олівця? Визначте середню швидкість руху котушки за час праці гумового двигуна.



Фізика і техніка в Україні



Борис Євгенович Патон народився в 1918 р. у Києві. Світову славу йому принесли дослідження в галузі електродугового зварювання та створення зварювальних автоматів, які використовують у різних галузях промисловості та будівництва.

У 1953 р. Б. Є. Патон став директором Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона (Київ). Учений очолив дослідження, в результаті яких сформувався зовсім новий напрям у сучасній металургії, що здобув визнання в усьому світі.

Під керівництвом Б. Є. Патона створено електрошлаковий процес для підвищення якості іржостійких сталей, започатковано зварювання в космосі. Учений запропонував і втілює у практику зварювання тканин людини під час хірургічних операцій. Ця методика зберегла життя тисячам хворих і зараз використовується у всьому світі.

У 1958 р. вчений був обраний дійсним членом Академії наук України, а з 1962 р. є її незмінним президентом.

§ 13. РІВНОМІРНИЙ РУХ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПО КОЛУ. ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ

Рух по колу є дуже поширеним. Майже по коловій траєкторії рухаються частинки пилу, піднятого смерчем, планети навколо зір, зорі навколо центра Галактики (рис. 13.1). По дузі кола рухається автомобіль під час повороту, ківш екскаватора, спортивний молот під час розкручування перед кидком. Найпростіший рух по колу — рівномірний рух. Саме про нього йтиметься в цьому параграфі.



Рис. 13.1. Приклади руху по колу в природі: смерч (а); рух планет навколо Сонця (б); рух зір навколо центра Галактики (в)

1 Даємо визначення рівномірного руху по колу

Рівномірний рух по колу — це такий криволінійний рух, у ході якого траєкторією руху точки є коло і за будь-які рівні інтервали часу точка проходить однаковий шлях.

Рівномірно по колу рухаються, наприклад, кабінки оглядового колеса, точки ротора парової турбіни. Близьким до рівномірного руху по колу є рух планет навколо Сонця, Місяця навколо Землі.

На вашу думку, чи буде рух точок обода колеса велосипеда рівномірним? Чи буде рівномірним рух точок барабана пральної машини? Обґрунтуйте свою відповідь.



Вісь обертання

Рис. 13.2. Період обертання кожної точки Землі — 24 години

2 Визначаємо період обертання

Рівномірний рух по колу — це *періодичний рух*, тобто рух, який повторюється через рівні інтервали часу. Наприклад, завдяки добовому обертанню Землі навколо своєї осі кожна точка нашої планети здійснює один повний оберт за 24 години (рис. 13.2).

Будь-який періодичний рух характеризується такими фізичними величинами, як *період* і *частота*.

Період обертання — це фізична величина, яка дорівнює часу, протягом якого тіло, що рівномірно рухається по колу, здійснює один повний оберт.

Період обертання позначають символом T (те). Одиниця періоду обертання в СІ — **секунда**:

$$[T] = \text{с.}$$

Якщо період обертання тіла дорівнює 1 с, то це означає, що тіло за одну секунду здійснює один повний оберт.

Щоб визначити період обертання T тіла, слід підрахувати кількість повних обертів N , здійснених цим тілом за інтервал часу t , і скористатися формулою:

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

3 Визначаємо обертову частоту

У ході дослідження руху матеріальної точки по колу буває так, що для опису руху доцільно використовувати не період обертання, а **обертову частоту** (рис. 13.3).

Обертова частота — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості обертів за одиницю часу.

Позначають обертову частоту символом n (ен) і обчислюють за формулою:

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

Одиниця обертової частоти в СІ — **оберт на секунду**:

$$[n] = \frac{\text{об}}{\text{с}} = \frac{1}{\text{с}}.$$

Зважаючи на те що $T = \frac{t}{N}$, а $n = \frac{N}{t}$, зрозуміло, що залежність періоду обертання і обертової частоти є обернено пропорційною:

$$n = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{1}{n}$$

4 Вимірюємо час

Однією з найважливіших причин, що спонукали людей вивчати Сонце та Місяць, була потреба у вимірюванні часу, тобто потреба в порівнянні тривалості певних подій із тривалістю будь-яких періодичних процесів. Такими періодичними процесами для наших предків були зміни на небосхилі: схід і захід Сонця, зміна фаз Місяця, зміна вигляду зоряного неба. Ви вже знаєте, що ці зміни викликані обертанням: Землі навколо своєї осі, Землі навколо Сонця, Місяця навколо Землі.

Схід і захід Сонця, зумовлені *обертанням Землі навколо своєї осі*, стали основою виникнення понять дня та ночі, а також природної одиниці часу — *добі*.



Рис. 13.3. Обертова частота кулерів сучасних процесорів становить 50–60 обертів на секунду

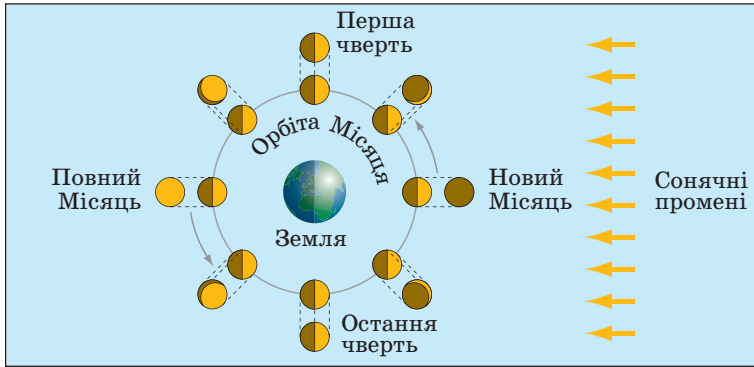


Рис. 13.4. У прадавні часи початок і кінець місяця визначали за фазами Місяця

Понад 5000 років тому жерці стародавнього Вавилону за зміною фаз Місяця визначали такі відомі нам інтервали часу, як місяць і тиждень. Було помічено, що протягом 29,5 діб Місяць проходить повний цикл зміни фаз — молодика, першої чверті, повні, останньої чверті (рис. 13.4). Це зумовлене рухом Місяця навколо Землі. Зазначений цикл становить один місячний місяць. Жерці розділили місячний місяць на чотири майже рівні частини й отримали сім днів. Так виникло поняття тижня.

5 Учимися розв'язувати задачі

Задача. Парова турбіна має ротор і робоче колесо, які обертаються. Ротор здійснює 1200 обертів на хвилину, а обертова частота колеса в 40 разів менша, ніж обертова частота ротора. Визначте обертову частоту та період обертання робочого колеса турбіни.

Дано:
 $t_1 = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$

$$N_1 = 1200$$

$$n_2 = \frac{n_1}{40}$$

$T_2 = ?$

$n_2 = ?$

Аналіз фізичної проблеми.

Знаючи час t_1 обертання (хвилина) і кількість N_1 обертів за цей час, знайдемо обертову частоту n_1 ротора парової турбіни. За умовою задачі обертова частота n_2 робочого колеса в 40 разів менша. Для визначення періоду T_2 обертання колеса скористаємося формулою зв'язку періоду обертання та обертової частоти.

Задачу будемо розв'язувати в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

$$n_1 = \frac{N_1}{t_1} \quad \text{— обертова частота ротора парової турбіни.}$$

Оскільки $n_2 = \frac{n_1}{40}$, то $n_2 = \frac{N_1}{40t_1}$ — обертова частота робочого колеса турбіни.

$$\text{Період обертання робочого колеса: } T_2 = \frac{1}{n_2} = \frac{40t_1}{N_1}.$$

Перевіримо одиниці шуканих величин:

$$[n_2] = \frac{1}{\text{с}}; [T_2] = \frac{1}{\frac{1}{\text{с}}} = \text{с}.$$

Знайдемо значення шуканих величин:

$$n_2 = \frac{1200}{40 \cdot 60} = 0,5 \left(\frac{\text{об}}{\text{с}} \right); T_2 = \frac{1}{0,5} = 2 (\text{с}).$$

Аналіз результатів. Період обертання робочого колеса парової турбіни становить 2 с, і це означає, що колесо робить 1 оберт за 2 с; результат є правдоподібним.

Відповідь: період обертання робочого колеса становить 2 с, обертова частота — 0,5 об/с.



Підбиваємо підсумки

Рівномірний рух по колу — це такий криволінійний рух, у ході якого траєкторією руху точки є коло і за будь-які рівні інтервали часу точка проходить однаковий шлях.

Рівномірний рух по колу — це періодичний рух, тобто рух, який повторюється через однакові інтервали часу. Періодичний рух характеризується такими фізичними величинами, як період і частота.

Період обертання T — це фізична величина, яка дорівнює часу, протягом якого тіло, що рівномірно рухається по колу, здійснює один повний оберт: $T = \frac{t}{N}$, де t — час спостереження; N — кількість повних обертів за цей час. Одиниця періоду обертання в СІ — секунда (с).

Обертова частота n — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості обертів за одиницю часу: $n = \frac{N}{t}$. Одиниця обертової частоти в СІ — оберт на секунду (об/с, або 1/с). Обертова частота є обернено пропорційною періоду обертання: $n = \frac{1}{T}$.



Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним рухом по колу?
2. Чому рівномірний рух по колу є періодичним?
3. Які фізичні величини характеризують рівномірний рух по колу?
4. Що таке період обертання і як його визначають?
5. Що таке обертова частота?
6. Як визначити обертову частоту, якщо відомий період обертання?
7. Спостереження за яким процесом спричинило появу таких одиниць часу, як місяць і тиждень?



Вправа № 13

1. За 18 секунд колесо автомобіля здійснило 24 оберти. Знайдіть період обертання точки на ободі колеса.
2. Якою є обертова частота патрона електродриля, якщо за хвилину він здійснює 900 обертів?
3. Лопаті вентилятора здійснюють один повний оберт за 0,2 с. Якою є їхня обертова частота?

4. Відомо, що кулер мікропроцесора персонального комп'ютера обертається з частотою 3600 об/хв. Яким є період обертання кулера?
5. Якими є співвідношення між обертовими частотами і періодами обертання кінців хвилинної та годинної стрілок годинника?
6. Учень катався на каруселі 5 хв. За цей час він виконав 100 повних обертів. Чи можна стверджувати, що період обертання каруселі дорівнює 3 с? Відповідь обґрунтуйте.
7. Чотири шестерінки скріплені зубцями так, як показано на рис. 1. Шестерінка 1 має 20 зубців, шестерінка 2 — 30 зубців, шестерінка 3 — 10 зубців, шестерінка 4 — 40 зубців. Шестерінки 2 і 3 закріплені на спільному валу. Визначте період обертання шестерінки 4, якщо частота обертання шестерінки 1 дорівнює 6 об/с.
8. Визначте довжину колової орбіти штучного супутника Землі (рис. 2), якщо він обертається на відстані 300 км від поверхні Землі. Вважайте, що радіус Землі дорівнює 6400 км.

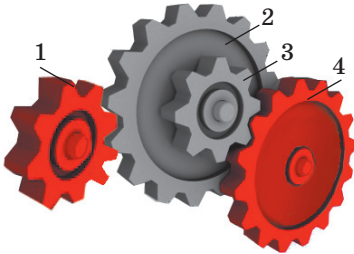


Рис. 1

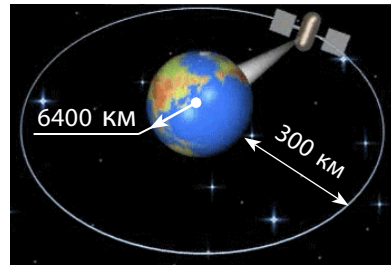


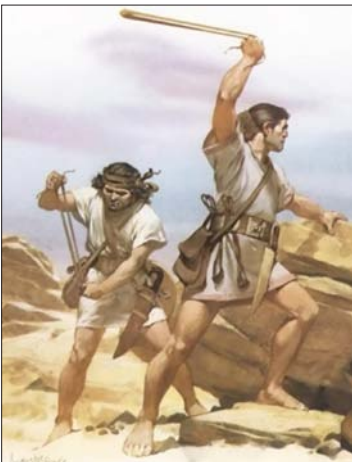
Рис. 2



Експериментальне завдання

«Обертання в побуті». Визначте період обертання та обертову частоту деталей деяких побутових приладів: колеса швацької машинки, барабана пральної машини, лопаті вентилятора кондиціонера тощо. Які вимірювання слід здійснити, щоб виконати це завдання?

§ 14. ШВИДКІСТЬ РІВНОМІРНОГО РУХУ ПО КОЛУ



Розгляньте рис. 14.1. Це — воїни, озброєні пращею. Незважаючи на простоту цієї зброї (праща — це лише смужка тканини або шкіри), вона є досить ефективною і до того ж дуже цікавою за принципом дії. У складену пращу вкладають камінь, розкручують пращу, тримаючи її за обидва кінці, а потім один кінець відпускають — і камінь летить до цілі. Принцип дії праці базується на знанні особливостей швидкості руху тіла по колу. Саме про такий рух йтиметься в параграфі.

Рис. 14.1. Праща — давня метальна зброя, дія якої базується на особливостях руху тіла по колу

1 **Виявляємо особливості руху матеріальної точки по колу**

Розглянемо рівномірний рух двох тіл по колах (рис. 14.2). Кола мають спільний центр, тіла рухаються в один бік з такими швидкостями, що весь час залишаються на одному радіусі.

Обидва тіла проходять кола за однаковий час, тобто мають однаковий період обертання. Із рисунка бачимо, що тіло 2 за той самий час пройде більший шлях, ніж тіло 1 ($l_2 > l_1$). Таким чином, швидкість, із якою рухається тіло 2, більша за швидкість руху тіла 1.

Ви дізналися про першу важливу особливість руху по колу: *якщо за незмінного періоду обертання збільшити радіус кола, яким рухається тіло, то швидкість руху тіла зростає*. Саме тому камінь у праці набуває набагато більшої швидкості, ніж кисть руки воїна.

Якою ж є друга особливість руху по колу? Ви вже знаєте, що швидкість руху має значення і напрямок. Під час рівномірного руху по колу значення швидкості руху залишається незмінним, а напрямок швидкості весь час змінюється.

Отже, друга особливість руху по колу: *швидкість руху напрямлена вздовж дотичної до кола, тобто вздовж прямої лінії, яка має з колом одну спільну точку* (рис. 14.3, 14.4). Саме тому камінь, який воїн випускає з праці, не продовжує рухатися по колу, а поводить ся так, ніби його кинули в певному напрямку з дуже великою початковою швидкістю.

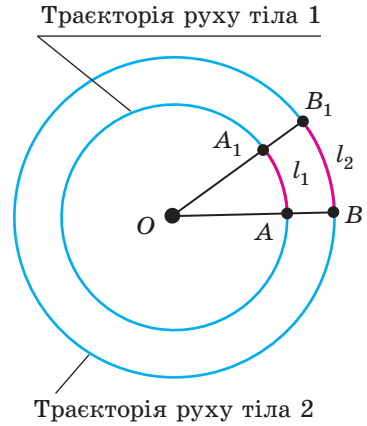


Рис. 14.2. Якщо тіла рухаються по коловій траєкторії так, що весь час залишаються на одному радіусі, то за рівні інтервали часу вони проходять різний шлях

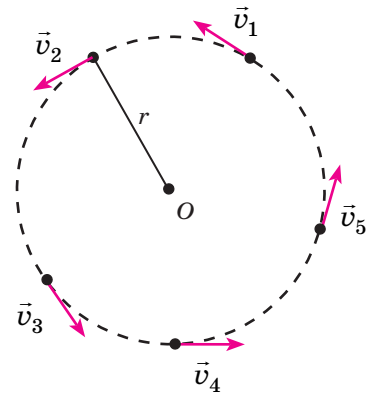


Рис. 14.3. У кожній точці коловій траєкторії швидкість руху напрямлена вздовж дотичної до кола



Рис. 14.4. Швидкості руху іскор феєрверка, бризок з-під коліс автомобіля, металеві тирси напрямлені вздовж дотичної до кола. Саме в цьому напрямку частинки продовжують свій рух після відриву

2 **Визначаємо швидкість рівномірного руху тіла по колу**

Дізнаємось, як розрахувати швидкість v рівномірного руху тіла по колу радіуса R , якщо відомий період обертання T .

Згадайте, що швидкість будь-якого рівномірного руху тіла розраховується за формулою: $v = \frac{l}{t}$. Якщо тіло рівномірно рухається по колу, то за

час, що дорівнює періоду ($t = T$), тіло робить один повний оберт, тобто долає шлях, який дорівнює довжині кола. Довжину кола l можна визначити за відомою вам з математики формулою: $l = 2\pi R$, де $\pi \approx 3,14$ — математична константа; R — радіус кола.

Знаючи шлях і час, за який цей шлях пройдено, отримуємо формулу для розрахунку *швидкості рівномірного руху тіла по колу*:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T}$$

Саме цю швидкість мають на увазі, коли, наприклад, характеризують рух автомобіля на повороті, говорять про швидкість польоту штучних супутників Землі, описують рух частинки у великому адронному колайдері тощо.

3 **З'ясовуємо зв'язок швидкості руху тіла по колу і обертової частоти**

Згадаємо, що рівномірний рух по колу характеризується не тільки періодом обертання тіла, але і його обертовою частотою n . Урахувавши обернено пропорційну залежність між періодом і частотою ($T = \frac{1}{n}$), із формули $v = \frac{2\pi R}{T}$ дістанемо ще одну формулу для визначення *швидкості рівномірного руху тіла по колу*:

$$v = 2\pi Rn$$

(А от стосовно праці доходимо висновку: чим більша обертова частота каменя, тим більшої швидкості руху він набуває.)

Із тієї ж формули для швидкості рівномірного руху по колу ($v = \frac{2\pi R}{T}$) отримуємо формули для розрахунку *радіуса траєкторії руху тіла (радіуса кола)*:

$$R = \frac{vT}{2\pi}$$

і періоду обертання тіла:

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

4 **Учимося розв'язувати задачі**

Задача. З якою швидкістю має летіти літак над екватором Землі, щоб для пасажирів літака Сонце не змінювало свого положення на небосхилі?

Дано:

$$T = 24 \text{ год}$$

$$R = 6400 \text{ км}$$

$$\pi = 3,14$$

 $v = ?$

Аналіз фізичної проблеми. Зміна положення Сонця на небосхилі пояснюється добовим обертанням Землі навколо своєї осі. Бачене положення Сонця не буде змінюватися, якщо рухатися в напрямку, протилежному напрямку обертання Землі, зі швидкістю, яка дорівнює швидкості руху точки на екваторі відносно осі обертання Землі.

Період обертання Землі — 24 години, радіус Землі знаходимо в довідковій літературі — він дорівнює приблизно 6400 км. Літак рухається на висоті декілька кілометрів, а радіус Землі надано з точністю до сотень кілометрів, тому вважатимемо, що радіус траєкторії руху літака дорівнює радіусу Землі.

Знаючи період обертання та радіус траєкторії, знайдемо швидкість руху літака, яку подамо в кілометрах на годину.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Скористаємося формулою для визначення швидкості руху тіла по колу: $v = \frac{2\pi R}{T}$.

$$\text{Перевіримо одиницю шуканої величини: } [v] = \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6400}{24} \approx 1670 \left(\frac{\text{км}}{\text{год}} \right).$$

Аналіз результатів. Швидкість руху літаків-винищувачів сягає 2500 км/год, отже, результат є реальним.

Відповідь: літак має летіти зі швидкістю 1670 км/год.



Підбиваємо підсумки

Під час рівномірного руху по колу напрямок швидкості руху весь час змінюється, а значення швидкості залишається незмінним.

Швидкість \vec{v} рівномірного руху тіла по колу напрямлена вздовж дотичної до кола; значення швидкості руху обчислюють за формулами:

$$v = \frac{l}{t}; \quad v = \frac{2\pi R}{T}; \quad v = 2\pi Rn,$$

де l — шлях, що пройшло тіло; t — час, за який цей шлях пройдено; R — радіус кола; T — період обертання; n — обертова частота; $\pi \approx 3,14$ — математична константа.



Контрольні запитання

1. Як залежить швидкість рівномірного руху тіла по колу від радіуса траєкторії за незмінного періоду обертання?
2. Який напрямок має швидкість руху в даній точці колової траєкторії?
3. Як визначити швидкість рівномірного руху по колу?
4. Як визначити період обертання та радіус траєкторії під час рівномірного руху по колу?



Вправа № 14

1. Коли автомобільні перегони проходять кільцевою трасою, водії намагаються пройти повороти по внутрішньому краю полотна дороги. Для чого вони це роблять?
2. Для чого поверх коліс велосипеда надівають щитки?
3. Знайдіть швидкість руху Землі навколо Сонця, вважаючи, що орбіта Землі — це коло радіусом $1,5 \cdot 10^8$ км.
4. Швидкість руху диска «болгарки» (див. [рисунок](#)) в точці дотику з поверхнею, яку обробляють, повинна бути не меншою ніж 80 м/с. Якими за такої швидкості будуть обертова частота й період обертання диска, якщо його діаметр дорівнює 160 мм?
5. Радіус колеса велосипеда — 0,4 м. Скільки обертів за хвилину робить колесо, якщо швидкість руху велосипеда становить 15,7 м/с?
6. Хвилинна стрілка годинника втричі довша за секундну. У скільки разів швидкість руху кінця секундної стрілки більша, ніж хвилинної?
7. Skorиставшись додатковими джерелами інформації, порівняйте середні радіуси орбіт планет: Венери, Землі, Марса, — а також періоди їхнього обертання навколо Сонця. Визначте швидкості руху цих планет відносно Сонця. Підготуйте презентацію, зробіть коротке повідомлення.



Експериментальні завдання

«Скрізь фізика»

1. Визначте швидкість рівномірного руху точки на барабані пральної машини під час прання; під час віджимання. Які вимірювання вам необхідно здійснити, щоб виконати ці завдання?
2. Визначте швидкості рівномірного руху кінців хвилинної та годинної стрілок вашого домашнього годинника.
3. Вийдіть із товаришем на стадіон. Ви станьте на зовнішню бігову доріжку, а товариш — на внутрішню. Тепер пройдіть або пробіжіть разом повне коло так, щоб весь час триматися поруч. Чому на поворотах вам потрібно прискорювати рух, щоб залишатися поруч із товаришем?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема. Вимірювання періоду обертання та швидкості руху тіла по колу.

Мета: дослідити рівномірний рух тіла по колу, виміряти швидкість його руху, період обертання та обертову частоту.

Обладнання: пластикова кулька або інше невелике тіло (гудзик, ключ, тягарець тощо), яке можна легко закріпити на нитці; аркуш паперу із зображенням двох кіл радіусами 15 і 20 см; міцна нитка завдовжки 50–60 см; секундомір; лінійка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - 1) Який рух називають рівномірним рухом по колу?

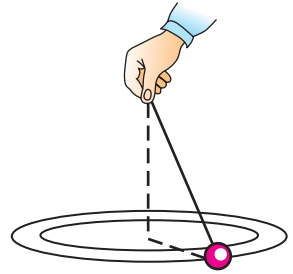
2) За якими формулами обчислюють період рівномірного руху тіла по колу, обертову частоту, швидкість руху? Якими є одиниці періоду обертання, обертової частоти, швидкості руху?

2. Прикріпіть кульку (або інше невелике тіло) до нитки. На вільному кінці нитки зробіть петлю, за яку ви будете тримати нитку, обертаючи тіло в горизонтальній площині.

Експеримент

Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.

1. Виміряйте радіус одного із зображених на аркуші кіл (радіус колової орбіти).
2. Надайте кульці обертання в горизонтальній площині по одному із зображених кіл (див. рисунок), намагаючись обертати її з незмінною швидкістю.
3. Виміряйте час t , за який кулька здійснює 10–15 повних обертів.
4. Повторіть дослід ще раз, із колом іншого радіуса.



Радіус кола R , м	Час руху t , с	Кількість обертів N	Період обертання T , с	Обертова частота n , об/с	Швидкість руху v , м/с

Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть період обертання, обертову частоту та швидкість рівномірного руху кульки по колу.
2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте, який рух ви вивчали, значення яких величин визначали та які результати отримали.

Творче завдання

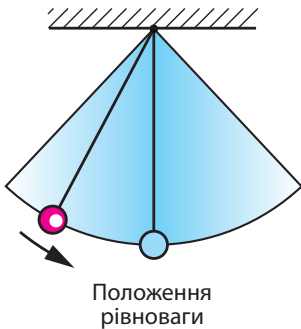
Оцініть абсолютну та відносну похибки вимірювання періоду обертання для кожного дослідів. Вважайте, що:

- 1) абсолютна похибка вимірювання часу $\Delta t = 0,2$ с;
- 2) абсолютна похибка вимірювання періоду обертання менша від абсолютної похибки вимірювання часу в стільки разів, скільки обертів виконало тіло.

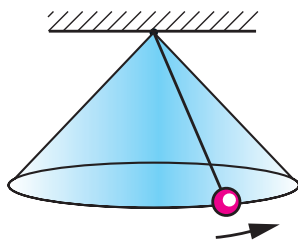
Запишіть результати вимірювання періодів обертання у вигляді: $T = T_0 \pm \Delta T$. Визначте межі вимірювання періодів.

§ 15. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. АМПЛІТУДА, ПЕРІОД І ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ

Жителі стародавніх Месопотамії, Єгипту, Китаю, спостерігаючи за Сонцем і Місяцем, визначили одиниці часу: рік, місяць, добу та ін. Був створений сонячний годинник, із часом з'явився водяний годинник. Проте справжня революція в конструкції годинників відбулася після з'ясування властивостей коливального руху. Яких саме властивостей — дізнаєтесь із цього параграфа.



а



б

Рис. 15.1. Коливальний (а) та обертальний (б) рухи дуже схожі

1 Знайомимося з коливаннями

Підвісимо тягарець на нитку, відхилимо його вбік від *положення рівноваги* і відпустимо. Тягарець почне *коливатися*, тобто рухатися від одного крайнього положення до іншого, повторюючи свій рух через певний інтервал часу (рис. 15.1, а).

Колівальний рух — це рух, який повторюється через рівні інтервали часу.

Колівання мають важливу спільну рису з рівномірним рухом по колу: і коливання, і обертання періодично повторюються (рис. 15.1).

2 Вивчаємо маятники

Тягарець, що коливається на нитці, — це приклад найпростішого маятника.

Маятник — це тверде тіло, яке здійснює коливання під впливом притягання до Землі або під впливом дії пружини.

Маятники, які коливаються під впливом притягання до Землі, називають фізичними маятниками (рис. 15.2). Коливання таких маятників залежать від їх маси, геометричних розмірів, форми.

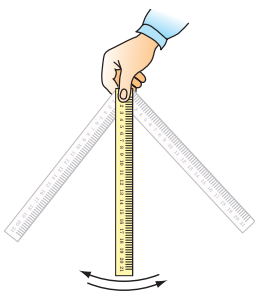


Рис. 15.2. Приклади фізичних маятників

Маятники, в яких тіло коливається завдяки дії пружини, називають пружинними маятниками (рис. 15.3). Коливання пружинного маятника залежать від властивостей пружини і маси тіла.

Маятники використовують у багатьох фізичних приладах. Особливо важливим є використання маятників у годинниках, адже періодичність коливань надає можливість здійснювати відлік часу.

3 Створюємо математичний маятник

Підвісимо на нитці досить об'ємний предмет, наприклад повітряну кульку, — ми отримали фізичний маятник. Детальне вивчення коливань такого маятника є досить складним. Характер коливань залежить від розмірів і маси кульки, довжини та властивостей нитки, інших чинників (рис. 15.4, а).

Щоб розміри тіла не впливали на його коливання, слід узяти нитку, довжина якої є досить великою порівняно з розмірами тіла, — у такому випадку тіло можна вважати матеріальною точкою. При цьому нитка має бути легкою і досить тонкою, а щоб під час коливань тіло було на незмінній відстані від точки підвісу, — нерозтяжною. У такий спосіб буде створено фізичну модель — *математичний маятник*.

Математичний маятник — це фізична модель, яка являє собою матеріальну точку, підвішену на тонкій, невагомій і нерозтяжній нитці.

Невелика металева кулька діаметром 1–2 см, підвішена на тонкій міцній нитці завдовжки 1–2 м, цілком може слугувати за маятник, на коливання якого не впливатимуть розміри тіла та властивості нитки (рис. 15.4, б)*. (Досліджувати коливання такого маятника ви будете в ході виконання лабораторної роботи № 5.)

4 Дізнаємося про амплітуду коливань

Спостерігаючи за коливанням маятника, неважко побачити, що є певна максимальна відстань, на яку тіло, що коливається, віддаляється від положення рівноваги. Цю відстань називають амплітудою коливань (рис. 15.5).

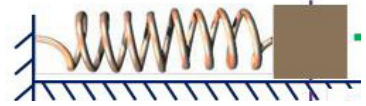


Рис. 15.3. Найпростіший приклад пружинного маятника

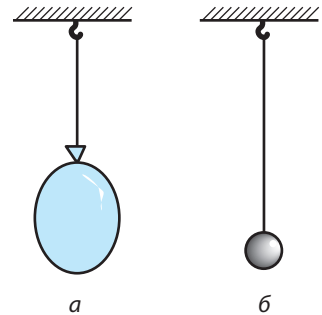


Рис. 15.4. Чи зручний для вивчення коливань «кульковий» маятник (а)? Напевно, ні: під час коливань нитка натягатиметься нерівномірно і кулька буде розгойдуватися «зигзагами». Металева кулька на довгій міцній нитці (б) зручніша для вивчення основних властивостей коливань

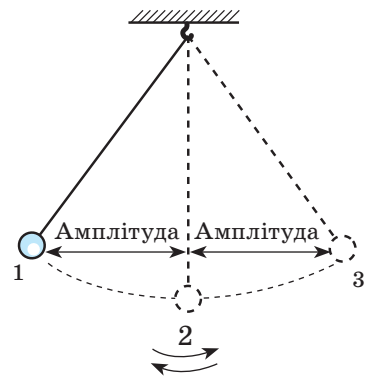


Рис. 15.5. Рух тіла від положення 1 до положення 3 (через положення 2), а потім знову до положення 1 — це одне повне коливання

* У цьому випадку довжина нитки вважається також довжиною маятника.

Амплітуда коливань — це фізична величина, що дорівнює максимальній відстані, на яку відхиляється тіло від положення рівноваги під час коливань

Амплітуду коливань позначають символом A . Одиниця амплітуди коливань в СІ — метр:

$$[A] = \text{м}.$$

За одне повне коливання тіло проходить шлях l_0 , який приблизно дорівнює чотирьом амплітудам (див. рис. 15.5):

$$l_0 = 4A.$$

5 Визначаємо період і частоту коливань

Схожість коливального руху з рівномірним рухом по колу дозволяє використовувати поняття періоду та частоти і для опису коливань.

Період коливань — це фізична величина, що дорівнює часу, за який відбувається одне повне коливання.

Період коливань, як і період рівномірного руху по колу, позначають символом T і обчислюють за формулою:

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

де t — час коливань; N — кількість повних коливань за цей час.
Одиниця періоду коливань в СІ — секунда:

$$[T] = \text{с}.$$

Частота коливань — це фізична величина, що чисельно дорівнює кількості повних коливань, які здійснює тіло за одиницю часу.

Частоту коливань позначають символом ν («ню») і обчислюють за формулою:

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



Рис. 15.6. Генріх Рудольф Герц (1857–1894) — німецький фізик, один із засновників електродинаміки

Одиниця частоти коливань в СІ — герц (Гц); вона названа так на честь видатного німецького фізика *Генріха Герца* (рис. 15.6).

Якщо тіло за одну секунду робить одне повне коливання, то частота його коливань дорівнює одному герцу: $1 \text{ Гц} = \frac{1}{\text{с}}$.

Частота ν і період коливань T пов'язані обернено пропорційною залежністю:

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

Маятники мають дуже важливу властивість: якщо амплітуда коливань набагато менша від довжини маятника, то частота і період коливань маятника визначаються лише його довжиною і не залежать від амплітуди.

Ви вже знаєте, що цю властивість маятників відкрив Галілео Галілей і що саме вона покладена в основу роботи механічних годинників.

6 Розрізняємо затухаючі і незатухаючі коливання

Виведемо маятник зі стану рівноваги та відпустимо. Маятник почне коливатися. Такі коливання називають **вільними**.

Якщо маятника не торкатися, то через певний час амплітуда його коливань помітно зменшиться, а ще через якийсь час коливання припиняться зовсім.

Коливання, амплітуда яких із часом зменшується, називають **затухаючими коливаннями**.

Вільні коливання завжди є затухаючими. Затухають із плином часу вільні коливання гойдалки і біла дзвоника, коливання струни гітари і гілки дерева тощо.

А от коли, наприклад, ви зафарбовуєте щось олівцем, то олівець під дією вашої руки здійснює **вимушені** коливання. Ці коливання триватимуть увесь час, поки ви дієте на олівець, і не затухатимуть.

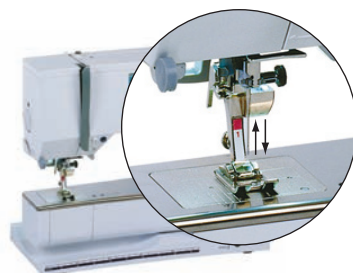


Рис. 15.7. Коливання голки швацької машинки — приклад вимушених незатухаючих коливань

Незатухаючі коливання — це коливання, амплітуда яких не змінюється з часом.

Наприклад, доки працює механізм швацької машинки, голка здійснює вимушені незатухаючі коливання (рис. 15.7).

7 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Невелику важку кульку, підвішену на нерозтяжній нитці завдовжки 1 м, відхилили від положення рівноваги та відпустили. За 30 с кулька здійснила 15 повних коливань. Яку відстань пройде кулька за 36 с, якщо амплітуда коливань дорівнює 5 см? Коливання вважайте незатухаючими.

Дано:
 $t_1 = 30$ с
 $N_1 = 15$
 $t_2 = 36$ с
 $A = 5$ см

l — ?

Аналіз фізичної проблеми. Амплітуда коливань набагато менша від довжини нитки, тому можна вважати, що за одне повне коливання кулька проходить шлях, який дорівнює чотирьом амплітудам (4A).

Якщо визначити кількість повних коливань за 36 с, то можна знайти відстань, яку пододала кулька. Кількість повних коливань знайдемо, визначивши час одного повного коливання, тобто період коливань.

Задачу розв'язуватимемо в поданих одиницях.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Знайдемо період коливань: $T = \frac{t_1}{N_1} = \frac{30 \text{ с}}{15} = 2 \text{ с}$.

Знайдемо кількість повних коливань за 36 с:

$$N_2 = \frac{t_2}{T} = \frac{36 \text{ с}}{2 \text{ с}} = 18.$$

Визначимо шлях, який долає кулька за одне повне коливання: $l_0 = 4A = 4 \cdot 5 \text{ см} = 20 \text{ см}$.

Визначимо шлях, який подолає кулька за 36 с:

$$l = N_2 \cdot l_0 = 18 \cdot 20 \text{ см} = 360 \text{ см} = 3,6 \text{ м}.$$

Аналіз результатів. За одне повне коливання кулька проходить відстань 20 см; час коливань більший за період коливань, тому пройдена кулькою відстань буде більшою ніж 20 см. Отже, результат є правдоподібним.

Відповідь: за 36 с кулька пройде відстань 3,6 м.



Підбиваємо підсумки

Рухи, які повторюються через рівні інтервали часу, називають коливальними рухами, або коливаннями. Розрізняють затухаючі і незатухаючі, вільні і вимушені коливання.

Амплітуда A коливань — це фізична величина, що дорівнює максимальній відстані, на яку тіло відхиляється від положення рівноваги.

Період T коливань — це фізична величина, що дорівнює часу, за який відбувається одне повне коливання: $T = \frac{t}{N}$. Одиниця періоду коливань в СІ — секунда (с).

Частота ν коливань — це фізична величина, що чисельно дорівнює кількості повних коливань, які здійснює тіло за одиницю часу: $\nu = \frac{N}{t}$. Одиниця частоти коливань в СІ — герц (Гц).

Частота і період коливань пов'язані обернено пропорційною залежністю:

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



Контрольні запитання

1. Дайте визначення коливального руху.
2. Наведіть приклади коливань.
3. Наведіть приклади маятників.
4. Що таке математичний маятник?
5. Дайте визначення амплітуди, періоду, частоти коливань. Як визначити ці фізичні величини? У яких одиницях їх вимірюють?
6. Яка існує залежність між частотою і періодом коливань?
7. Чим відрізняються вільні і вимушені коливання?
8. Які коливання називають затухаючими? незатухаючими?



Вправа № 15

1. Під час коливань тіло рухається від крайнього лівого положення до крайнього правого. Відстань між цими двома положеннями становить 4 см. Визначте амплітуду коливань тіла.
2. За хвилину маятник здійснив 30 коливань. Визначте період коливань маятника.
3. Період коливань дорівнює 0,5 с. Визначте частоту коливань.

4. Скільки коливань здійснить тіло за 2 хв, якщо частота коливань становить 4 Гц?
5. Наведіть не згадані в параграфі приклади коливальних рухів. З'ясуйте, які це коливання: затухаючі або незатухаючі, вільні або вимушені.
6. Поплавок, що коливається на воді, піднімається та пірнає 6 разів за 3 секунди. Який шлях подолає поплавок за хвилину, якщо відстань між його крайніми положеннями становить 5 см?
7. Математичний маятник здійснює незатухаючі коливання. Які фізичні величини, що характеризують ці коливання (амплітуда, період, частота, швидкість руху), залишаються з часом незмінними? Відповідь обґрунтуйте.
8. Амплітуда коливань тіла на пружині дорівнює 10 см. Який шлях пройде тіло за чверть періоду коливань? за половину періоду? два періоди? Чи можна з'ясувати, який шлях пройде тіло за час, що дорівнює 0,2 періоду?
9. «Котра година?» — це питання задають протягом багатьох століть. Щоб відповісти на нього, існувало й існує зараз багато пристосувань. Одне з них — маятниковий годинник. Дізнайтесь про історію його створення і поділіться інформацією зі своїми товаришами, оформивши інформаційний листок.

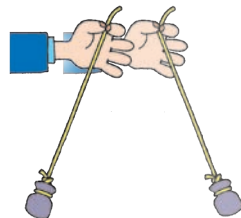


Експериментальне завдання

«Резонанс». Прив'яжіть до невеликого важкого тіла нитку завдовжки 20–30 см. Однією рукою візьміть нитку за вільний кінець, а другою відхиліть тіло від положення рівноваги. Маятник почне коливатися. Визначте частоту його вільних коливань.

Потім почніть дуже повільно рухати рукою з маятником з одного боку в інший (див. [рисунок](#)). Слідкуйте, щоб амплітуда коливань руки не змінювалась; руку достатньо переміщувати на 1–2 см.

Поступово збільшуйте частоту коливань руки. Незважаючи на те що амплітуда коливань руки залишається незмінною, маятник почне розгойдуватися. Нарешті настане такий момент, коли маятник розгойдається дуже сильно. Це явище називають *резонансом*. У ході подальшого збільшення частоти коливань руки, що тримає маятник, амплітуда коливань маятника зменшиться. Визначте частоту коливань руки в той момент, коли амплітуда коливань маятника найбільша, і дізнайтесь, за якої умови настає резонанс.



Фізика і техніка в Україні



Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА) — один із відомих сучасних університетів України.

Офіційне відкриття університету «Києво-Могилянська академія» відбулося в 1992 р. Ураховуючи історичну попередницю університету — Києво-Могилянську академію (1659–1817), навчальний заклад вважається одним із найстаріших в Україні.

Свою назву Академія отримала у 1694 р. за згодою між Гетьманщиною і Річчю Посполитою. У 1701 році цар Петро I підтвердив за установою статус академії.

Академія була центром духовного та культурного життя. Декілька поколінь художників, архітекторів, музикантів і науковців були її вихованцями. Серед них — архітектор Іван Григорович Григор'ович-Барський (1713–1791), композитор Артем Лук'янович Ведель (1767–1808), філософ Григорій Савич Сковорода (1722–1794), поет Петро Петрович Гулак-Артемовський (1790–1865). Серед гетьманів України було 14 вихованців Академії.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема. Дослідження коливань нитяного маятника.

Мета: навчитися визначати амплітуду, період і частоту коливань маятника; переконатися на досліді, що частота й період коливань маятника не залежать від амплітуди його коливань і маси тягарця, проте залежать від довжини нитки.

Обладнання: дві невеличкі важкі металеві кульки різної маси, міцні нерозтяжні нитки, лінійка завдовжки 1 м, штатив із муфтою та лапкою, секундомір, терези з важками.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
 - Що називають амплітудою коливань?
 - За якою формулою можна обчислити період коливань?
 - Що таке частота коливань і за допомогою яких формул її можна обчислити?
- Визначте ціну поділки шкали лінійки.
- Виміряйте за допомогою терезів маси кульок.
- Закріпіть кульки на нитках, довжина яких є трохи більшою від 1 м.
- Установіть на краю стола штатив. Біля верхнього кінця штатива закріпіть за допомогою муфти лапку й підвісьте до неї одну з кульок на нитці так, щоб довжина одержаного маятника становила 1 м.
- Пересуваючи муфту вздовж штатива, установіть її на такій висоті, щоб кулька опинилась на відстані 3–5 см від розташованої на підлозі лінійки.



Експеримент. Опрацювання результатів експерименту

- Дослідіть залежність періоду та частоти коливань маятника від його амплітуди. Для цього:
 - відхиливши маятник на відстань 2–3 см від положення рівноваги і відпустивши, виміряйте час, за який маятник виконає 20–30 коливань; визначте період і частоту коливань;
 - повторіть дослід, збільшивши амплітуду коливань до 5–6 см;
 - результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Номер досліду	Довжина нитки l , м	Амплітуда коливань A , м	Число коливань N	Час коливань t , с	Період коливань T , с	Частота коливань ν , Гц
1	1					
2	1					

2. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від його маси. Для цього:

- 1) перенесіть із табл. 1 до табл. 2 результати досліду № 1;
- 2) повторіть дослід для кульки іншої маси, довжина нитки якої теж дорівнює 1 м, а амплітуда коливань становить 2–3 см;
- 3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 2.

Таблиця 2

Номер досліду	Довжина нитки l , м	Маса кульки m , кг	Число коливань N	Час коливань t , с	Період коливань T , с	Частота коливань ν , Гц
1	1					
3	1					

3. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від довжини нитки. Для цього:

- 1) перенесіть із табл. 1 до табл. 3 результати досліду № 1;
- 2) повторіть дослід, зменшивши довжину нитки першого маятника до 25 см; амплітуда коливань має становити 2–3 см;
- 3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 3.

Таблиця 3

Номер досліду	Довжина нитки l , м	Число коливань N	Час коливань t , с	Період коливань T , с	Частота коливань ν , Гц
1	1				
4	0,25				

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши результати, зробіть висновок, у якому зазначте: які величини ви навчилися вимірювати; які чинники вплинули на точність одержаних результатів; як період і частота коливань маятника залежать від амплітуди коливань, маси кульки, довжини нитки.

Творче завдання

Не виконуючи вимірювань, визначте період коливань маятника завдовжки 4 м, амплітуда коливань якого 10 см, а маса дорівнює 300 г. Обґрунтуйте свою відповідь.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «Механічний рух»

У розділі 2 ви вивчали механічний рух та його характеристики, дізналися про види механічного руху — прямолінійний рух, рух по колу, коливальний рух.

1. Ви ознайомились з основними поняттями механіки.



2. Ви навчилися розрізняти види механічного руху.



3. Ви навчилися досліджувати рівномірний рух за допомогою *графіків шляху та швидкості руху*.

Графік швидкості руху	Графік шляху	Зв'язок між графіком швидкості руху і шляхом
		<p>Шлях чисельно дорівнює площі фігури під графіком швидкості руху</p>

4. Ви дослідили деякі *механічні рухи*.

Форма траєкторії	Шлях	Час руху	Швидкість руху
Рівномірний рух			
Будь-яка лінія	$l = vt$	$t = \frac{l}{v}$	$v = \frac{l}{t}$
Нерівномірний рух			
Будь-яка лінія	$l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$	$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$	$v_{\text{сеп}} = \frac{l = l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t = t_1 + t_2 + \dots + t_n}$
Рівномірний прямолінійний рух			
Пряма лінія	$l = s = vt$	$t = \frac{l}{v} = \frac{s}{v}$	$v = \frac{l}{t} = \frac{s}{t}$
Рівняння координати для рівномірного прямолінійного руху: $x = x_0 + vt$; $x = x_0 - vt$			

Форма траєкторії	Період	Частота	Шлях за період	Швидкість руху
Рівномірний рух по колу				
Коло	$T = \frac{t}{N}$, $T = \frac{1}{n}$	$n = \frac{N}{t}$, $n = \frac{1}{T}$	$l = 2\pi R$, де R — радіус кола	$v = \frac{2\pi R}{T}$
Коливальний рух				
Відрізок прямої, дуга кола	$T = \frac{t}{N}$, $T = \frac{1}{n}$	$\nu = \frac{N}{t}$, $\nu = \frac{1}{T}$	$l_0 = 4A$, де A — амплітуда коливань	Увесь час змінюється

Завдання для самоперевірки до розділу 2 «Механічний рух»

У завданнях 1–8 виберіть одну правильну відповідь.

1. (1 бал) Потяг, який прямує від однієї станції до іншої, перебуває у стані спокою відносно:

 - а) центра Землі;
 - б) пасажира, що сидить у кріслі вагона;
 - в) точок на ободі колеса вагона;
 - г) рейок, по яких він рухається.
2. (1 бал) Швидкість руху — це фізична величина, яка дорівнює:

 - а) добутку шляху і часу руху;
 - б) відношенню часу руху до шляху, який пододало тіло;
 - в) половині суми початкової та кінцевої швидкостей руху;
 - г) відношенню шляху, який пододало тіло, до часу руху.
3. (1 бал) Обертова частота — це фізична величина, яка чисельно дорівнює:

 - а) часу одного повного оберту;
 - б) кількості повних обертів за одиницю часу;
 - в) повній кількості обертів;
 - г) повному часу руху.
4. (1 бал) Період коливань математичного маятника:

 - а) залежить від довжини нитки;
 - б) залежить від маси маятника;
 - в) залежить від амплітуди коливань;
 - г) не залежить від земного тяжіння.
5. (2 бали) Потяг рухається зі швидкістю 40 м/с. Скільки часу триватиме подорож, якщо відстань між двома містами дорівнює 624 км?

а) 1 год 34 хв; б) 4,2 год; в) 4 год 20 хв; г) 15,6 год.
6. (2 бали) Гвинт гелікоптера за 0,5 хвилини здійснює 600 обертів. Чому дорівнює період обертання гвинта?

а) 0,8 мс; б) 50 мс; в) 5 с; г) 2 хв.
7. (2 бали) Півгодини хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 24 км/год, а потім ішов пішки 6 км зі швидкістю 4 км/год. Обчисліть середню швидкість руху хлопчика.

а) 9 км/год; б) 14 км/год; в) 20 км/год; г) 28 км/год.
8. (2 бали) Довжина годинної стрілки годинника становить 6 см. Чому дорівнює швидкість руху кінця цієї стрілки?

а) 6,3 мм/год; б) 31,4 мм/год;

в) 15,5 мм/год; г) 37,7 см/год.

9. (3 бали) Турист ішов гірською стежкою, рухаючись зі швидкістю 2 км/год, а потім повернувся до місця свого старту, рухаючись зі швидкістю 6 км/год. Якою була середня швидкість руху туриста на всьому шляху?
10. (3 бали) Скільки коливань здійснить маятник годинника, встановленого в кают-компанії судна, за час подорожі з Одеси до Керчі? Період коливань маятника дорівнює 1 с, відстань від Одеси до Керчі становить 250 км, судно рухається зі швидкістю 12,5 м/с.
11. (3 бали) За графіком залежності шляху від часу для рівномірного руху (рис. 1) визначте швидкість руху тіла. Відповідь подайте у км/год і м/с.
12. (3 бали) Рівняння координат двох автомобілів, які рухаються вздовж осі Ox , мають вигляд: $x_1 = 200 - 25t$ і $x_2 = 600 + 10t$. Швидкість руху якого автомобіля більша і в скільки разів?
13. (4 бали) Використовуючи дані рис. 2, визначте координату місця зустрічі автомобілів.

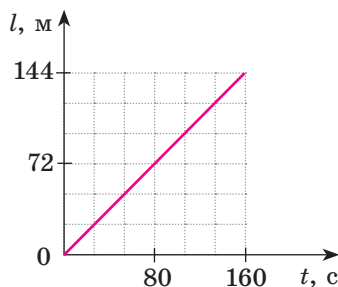


Рис. 1

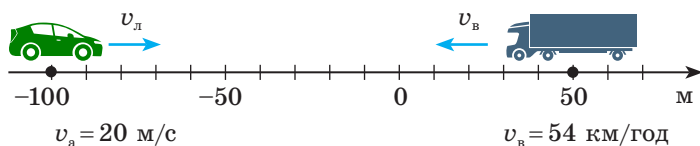


Рис. 2

14. (4 бали) На рис. 3 наведено графік швидкості руху автомобіля. Визначте максимальну швидкість руху автомобіля та весь шлях, що він проїхав.
15. (5 балів) Автомобіль проїхав 400 км. Першу половину всього часу руху він їхав зі швидкістю 90 км/год, а за другу половину часу руху подолав 175 км. Якою була швидкість руху автомобіля на другій ділянці шляху? Обчисліть середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху. Рух автомобіля на обох ділянках вважайте рівномірним.

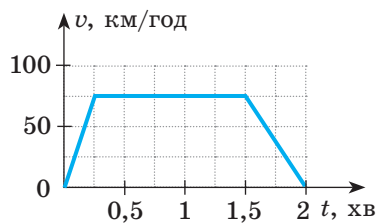


Рис. 3

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

Космодром в океані

Практично всі технічні новинки, що з'явилися за останні сто років, створено за такою схемою: *етап 1* — *учені відкривають новий ефект (явище); етап 2* — *інженери-фахівці створюють пристрій (прилад), дія якого базується на використанні відкритого ефекту (явища).*

Таким чином, інженери-механіки працюють над створенням нових, удосконалених автомобілів і верстатів, інженери-оптики — фотоапаратів і телескопів, інженери-електрики — акумуляторів і електромоторів тощо.

Прочитавши енциклопедичні сторінки в цьому підручнику, ви переконаєтеся в тому, що інженерові потрібні знання не тільки зі своєї спеціальності — він має широко застосовувати відомості з інших наукових галузей.

Як найдалі кинути камінь, або Чому космодроми будують поблизу екватора

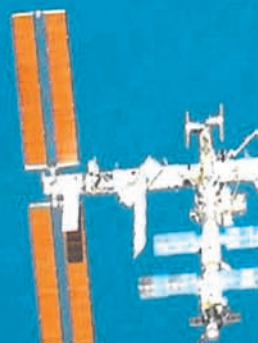
Більшість жителів Землі гадки не мають, як улаштовані ракети й космічні станції, але майже всім відомо, що космос — це дуже багато витрат. Знають про це й інженери — конструктори ракет. І щоб зменшити, наприклад, витрати на доправлення вантажів на орбіту, вони намагаються знаходити в тому числі всілякі нетрадиційні рішення. Наведемо приклад.



Стартова платформа проекту «Сі-Лонч»

Згадайте ваші ігри на дитячій каруселі: ви розганяєте карусель і застрибуєте на неї. При цьому найскладніше втримуватися на краю каруселі, що швидко обертається, — «невідомо сила» намагається скинути вас. Саме цей фізичний ефект використовують спортсмени — металники молота, розкручуючи металеве ядро на тросі (цікаво, що світовий рекорд у метанні молота приблизно в чотири рази більший, ніж у штовханні ядра, — близько 86 м і 22 м відповідно, при цьому маси обох снарядів є однаковими); на тому самому ґрунтується дія пращі — давньої металної зброї.

Конструктори ракет напевне добре знали фізику, адже вирішили «полегшити» старт космічного корабля, використовуючи як карусель Землю. І ось як. Відомо, що Земля



обертається навколо своєї осі, при цьому зрозуміло, що найшвидше обертаються території навколо екватора. Запускаючи ракету з екватора, за інших однакових умов на орбіту можна закинути приблизно на 20 % більше корисного вантажу. Тому, наприклад, космодром Європейського космічного агентства — космодром Куру — розміщений у Французькій Гвіані, безпосередньо поблизу екватора. А що ж робити тим країнам, які розташовані в середніх широтах, наприклад Україні?

Майже 20 років тому почався грандіозний міжнародний проект за участю України, що отримав назву «Сі-Лонч» (у перекладі з англійської — «морський старт»). Інженери вирішили: якщо країни не мають суходільної території на екваторі, слід здійснювати запуски ракет із морської поверхні. Як же цю ідею було реалізовано?



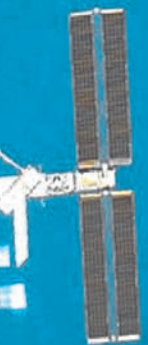
Місце розташування бразильського космодрому Алкантара

Зрозуміло, що для розміщення космодрому потрібна значна територія, практично цілий штучний острів. На щастя, подібні «острови» вже були створені, щоправда з іншою метою, — це плавучі платформи для видобутку нафти з дна морів. Як ракета-носіє у проекті «Сі-Лонч» була використана українська ракета «Зеніт» — одна із найкращих у світі. У рамках проекту було здійснено 36 пусків. Інженерна частина проекту виглядає бездоганною. На жаль, подібного не можна сказати про комерційну частину: стаціонарні (наземні) космодроми пропонують кращі умови. Тому проект тимчасово заморожено.

Українські фахівці одночасно з участю в «Морському старті» працюють у спільному українсько-бразильському проекті зі створення пускового майданчика на космодромі Алкантара (на півдні Бразилії, 300 км до екватора). І знову «родзинкою» проекту з українського боку є ракета-носіє. Цього разу — «Циклон-4».



Ракети-носії українського виробництва



Теми рефератів і повідомлень

1. Еволюція приладів для вимірювання часу.
2. Способи відліку часу. Календарі.
3. Надшвидкі потяги світу.
4. Рекорди швидкості серед живих істот і виробів техніки. Порівняння.
5. Історія рекордів швидкості на човнах.
6. Історія рекордів швидкості на автомобілях.
7. Яким буде транспорт майбутнього.
8. Україна — космічна держава.
9. Марсіанська наукова лабораторія: марсохід «К'юріосіті».
10. Комета Чурюмова — Герасименко.
11. Обертальний рух у природі та техніці.
12. Роль маятника у вивченні фізичних властивостей Землі.

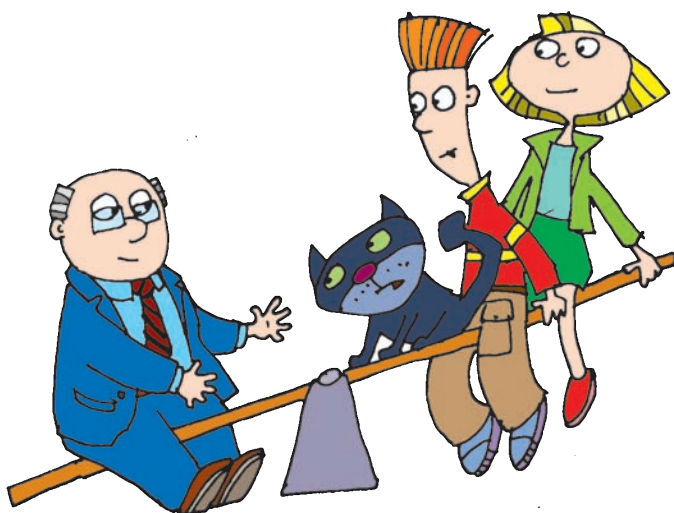
Теми експериментальних досліджень

1. Вимірювання часу реакції людини.
2. Визначення середньої швидкості руху людини під час прогулянки.
3. Визначення середньої швидкості польоту м'яча.
4. Побудова графіків механічного руху паперового літачка та визначення середньої швидкості його руху.

РОЗДІЛ 3

ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

- Ви вмієте вимірювати масу тіла, а навчитеся виміряти його вагу
- Ви розумієте, що руху тіла заважає сила тертя, а будете знати, чому сила тертя спричиняє рух тіла
- Ви знаєте, що для того, щоб стати невагомим, слід опинитися в космічному кораблі, а дізнаєтесь, як стати невагомим не виходячи з кімнати
- Ви бачили, як людина піднімається в небо на повітряній кулі, а зможете розрахувати розміри кулі, яка підніме в повітря саме вас
- Ви знаєте, що риби плавають, а дізнаєтесь, чому і як плаває підводний човен



ЧАСТИНА I. СИЛА. ВИДИ СИЛ

§ 16. ЯВИЩЕ ІНЕРЦІЇ

Автомобіль мчить дорогою, у небі літає птах, куля для боулінгу котиться по доріжці. Завдяки чому триває кожен із цих рухів? Чи існує якась причина виникнення цих рухів? Чи потрібне взагалі щось, щоб підтримувати рух? Чому швидкість руху одних тіл змінюється, а інших — залишається незмінною? Спробуємо відповісти на ці запитання.

1 Переконаємося, що тіла взаємодіють

У повсякденному житті ми постійно стикаємося з різними видами впливу одних тіл на інші. Щоб відчинити двері, ми «діємо» на них рукою; від дії нашої ноги м'яч летить у ворота; навіть сідаючи на стілець, ми чинимо вплив на нього (рис. 16.1).

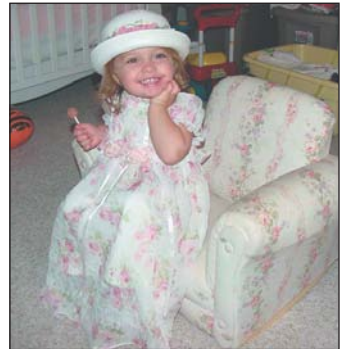


Рис. 16.1. Приклади взаємодії тіл

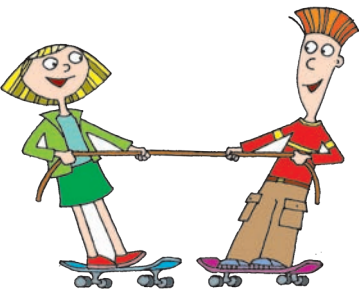


Рис. 16.2. У житті ми завжди маємо справу із взаємодією, а не з односторонньою дією

Водночас, відчиняючи двері, ми відчуваємо їхній вплив на нашу руку; дія м'яча на ногу особливо відчутна, якщо ми граємо у футбол босоніж; дія стільця не дозволяє нам упасти на підлогу. Тобто *дія завжди є взаємодією: якщо одне тіло діє на друге, то й друге тіло діє на перше.*

Проведіть дослід. Стоячи з товаришем на скейтах, легенько потягніть його за мотузку (рис. 16.2). З'ясуйте, хто з вас почне рухатися.

2 З'ясуємо, за яких умов тіло перебуває в стані спокою

М'яч, який лежить на підлозі, перебуває в стані спокою. Однак варто штовхнути м'яч рукою, і стан спокою порушиться, — м'яч почне



Рис. 16.3. М'яч перебуває в стані спокою відносно Землі, бо дія Землі скомпенсована дією підлоги



Рис. 16.4. Люстра перебуває в стані спокою, бо дія Землі скомпенсована дією підвісу



Рис. 16.5. Наш життєвий досвід показує: щоб візок рухався з незмінною швидкістю, хтось його має тягти

рухатися внаслідок взаємодії з рукою. А чи взаємодіє м'яч із чимось до цього? Звичайно, так. Ви добре знаєте, що всі тіла, які перебувають поблизу Землі, взаємодіють із нею. І якщо «усунути» підлогу, то під дією притягання Землі м'яч відразу ж почне рух. А перебуває він у стані спокою тому, що дія Землі на м'яч скомпенсована (зрівноважена) дією підлоги.

Тіло перебуває в стані спокою, якщо дії на нього інших тіл скомпенсовані (рис. 16.3, 16.4).

3 Дізнаємося, за яких умов тіло рухається рівномірно прямолінійно

Понад 2500 років тому давньогрецький філософ *Аристотель*, розмірковуючи про причини руху тіл, дійшов розумного з точки зору здорового глузду, але хибного з погляду фізики висновку: якщо на тіло нічого не діє, то воно має перебувати в стані спокою, а для підтримання руху тіла потрібна постійна дія на нього інших тіл.

Такі міркування, на перший погляд, відповідають повсякденному досвіду (рис. 16.5). Але наприкінці XVI ст. видатний італійський учений *Галілео Галілей*, провівши досліди зі скочуванням кульок похилим жолобом та здійснивши *уявний експеримент** (рис. 16.6), узяв під сумнів міркування Аристотеля і встановив, що ідеї давньогрецького філософа не можуть правильно пояснити причини руху тіл.

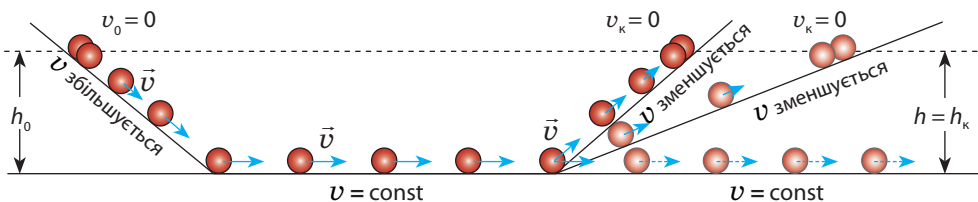


Рис. 16.6. Уявний експеримент Галілея. Коли кулька скочується жолобом униз, вона набирає швидкість; коли закочується вгору, сповільнює свій рух. Галілей поставив запитання: «Як буде рухатися кулька горизонтальним гладеньким жолобом, коли руху нічого не заважатиме?». Відповідь була несподіваною: кулька рухатиметься прямолінійно з незмінною швидкістю

* Експеримент, що проводиться у вигляді міркувань, у фізиці називають *уявним експериментом*. Уявні експерименти дають змогу обґрунтовувати здогадки, що підтверджуються або спростовуються подальшими реальними експериментами.

Здійснимо уявний експеримент. Уявимо хлопчика, який мчить довжезною горизонтальною ковзанкою (рис. 16.7). Якщо його ніхто не штовхає і не тягне, то, як підказує наш досвід, урешті-решт він має зупинитись. Але інтервал часу від початку руху хлопчика до його зупинки буде різним — залежно від зовнішніх умов. Якщо, наприклад, на льоду є намерзлий сніг, то учень проїде лише 2–3 м; якщо лід гладенький, не є межею і 20 м; а якщо хлопець стане на ковзани, він може «пролетіти» й сотню метрів.

Розмірковуємо далі. Уявимо, що «гальмування» немає зовсім, а хлопчик, як і раніше, не зазнає жодної дії ззовні. У цьому випадку уявний хлопчик ковзатиме з незмінною швидкістю уявною ковзанкою як *завгодно довго*. При цьому дія Землі та дія ковзанки, яка не дає хлопчикові «провалитися», зрівноважують (компенсують) одна одну.

Умова руху тіла з незмінною швидкістю відома в механіці як **закон інерції**:

Тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває в стані спокою лише тоді, коли на нього не діють інші тіла або дії інших тіл скомпенсовані.

4 Знайомимося з інерцією

Фізичне явище зберігання тілом стану спокою або рівномірного прямолінійного руху називають *інерцією* (від латин. *inertia* — нерухомість, бездіяльність).

Інерція — це явище зберігання швидкості руху тіла за відсутності або скомпенсованості дії на нього інших тіл.

У фізиці *рух тіла за ідеальних умов (коли на тіло зовсім не діють інші тіла) називають рухом за інерцією*.

Однак у реальності неможливо створити умови, за яких дія інших тіл відсутня. Тому в повсякденні рухом за інерцією вважають випадки, коли дія на тіло інших тіл доволі слабка і до помітної зміни швидкості свого руху тіло проходить значний шлях. Наприклад, ми називаємо рухом за інерцією ковзання шайби по льоду після удару ключкою (рис. 16.8), але не називаємо так ледь помітне просування цієї шайби в купі піску, куди вона влучила.



Рис. 16.7. Чи зупиниться хлопчик, коли ніщо не заважатиме його рухові?



Рис. 16.8. Ковзання шайби по льоду після удару ключкою можна вважати рухом за інерцією

5 Спостерігаємо результат дії одного тіла на інше

А як буде рухатися тіло, на яке діють інші тіла, і ця дія не є скомпенсованою? Наприклад, як рухатиметься більярдна куля, на яку налітає інша куля, і її удар нічим не компенсується? Як буде рухатися тягарець, що висить на нитці, якщо нитку перерізати і дія Землі не буде зрівноважена дією нитки? Що буде, якщо, стоячи на ковзанах, ви відштовхнетеся від свого друга, який теж стоїть на ковзанах, і ваша дія не скомпенсується опором руху з боку льоду, бо лід гладенький?

У цих та багатьох інших випадках *тіла змінюють швидкість свого руху*: більярдні кулі полетять у різні боки з різною швидкістю (рис. 16.9); тягарець почне падати з дедалі більшою швидкістю; ви почнете рухатися на ковзанах в один бік, а ваш друг — в інший.

Отже, можна зробити висновок: *якщо дії на тіло інших тіл не скомпенсовані, то тіло змінює швидкість свого руху за значенням чи напрямком або одночасно за значенням і напрямком.*

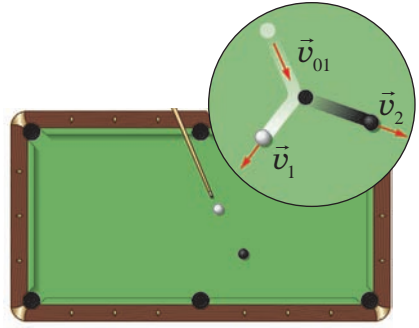


Рис. 16.9. Вияв взаємодії тіл: більярдні кулі внаслідок зіткнення змінюють швидкості свого руху як за значенням, так і за напрямком



Підбиваємо підсумки

Тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває в стані спокою лише тоді, коли на нього не діють інші тіла або дії інших тіл скомпенсовані.

Інерція — це явище зберігання швидкості руху тіла за відсутності або скомпенсованості дії на нього інших тіл.

Якщо дії на тіло інших тіл не скомпенсовані, то тіло змінює швидкість свого руху за значенням чи напрямком або за значенням і напрямком одночасно.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади взаємодії тіл.
2. За яких умов тіло перебуває в стані спокою?
3. Як рухається тіло, якщо на нього не діють інші тіла?
4. Що таке інерція?
5. За яких умов тіло рухається за інерцією?
6. Що відбувається з тілом, коли дії на нього інших тіл не скомпенсовані?



Вправа № 16

1. Ви сидите на стільці — і ви, і стілець перебуваєте в стані спокою відносно Землі. Які тіла діють на стілець? на вас? Що ви можете сказати про ці дії?
2. Повітряна бульбашка спливає в озері з незмінною швидкістю. Дії яких тіл на бульбашку є скомпенсованими?

3. За яких умов ковзаняр під час змагань рухається рівномірно прямолінійно? збільшує або зменшує швидкість руху?
4. Чи можна рух більярдної кульки після удару вважати рухом за інерцією? Поясніть свою думку.
5. Як приклад руху за інерцією учень навів рух Місяця навколо Землі. Обґрунтуйте або спростуйте його думку.
6. У космічному просторі немає від чого відштовхнутись, але космічні ракети успішно там літають, змінюючи швидкість свого руху та переходячи з однієї орбіти на іншу. Від чого «відштовхуються» ракети, щоб змінити швидкість свого руху?
7. Придумайте задачу за темою цього параграфа, розв'яжіть його та запропонуйте розв'язати своїм однокласникам.
8. Напишіть короткий твір на тему «Мій досвід, який підтверджує взаємодію тіл» (це може бути навіть вірш!). Оформте твір на окремому аркуші, додавши фото або малюнки.
9. Подайте в кілограмах і запишіть у стандартному вигляді такі маси тіл: 5,3 т; 0,25 т; 4700 г; 150 г; 1230 мг; 50 мг.
10. Перегляньте відеоролик. У яких сюжетах рух мультиплікаційних героїв можна вважати рухом за інерцією? Поясніть свою думку.



Експериментальні завдання

1. «Рух за інерцією». Підкладіть під ніжки вашого письмового стола шматок фанери, щоб поверхня мала невеликий нахил до горизонту. На поверхню стола покладіть тенісну кульку так, щоб вона скочувалася поверхнею. Потім легенько штовхніть кульку вгору по поверхні стола. Простежте рух кульки в обох випадках. За якого розташування поверхні стола кулька буде рухатися рівномірно прямолінійно? Дія яких тіл буде при цьому скомпенсованою?
2. «Реактивний рух». Рухаючись на скейті, киньте в напрямку, протилежному напрямку вашого руху, важке тіло. Як зміниться швидкість вашого руху? Що відбудеться в разі, якщо тіло кинути в напрямку вашого руху? перпендикулярно до руху? Поясніть результати досліду. Де можна застосувати (або вже застосовують) спостережуване явище?

Фізика і техніка в Україні



Микола Миколайович Боголюбов (1909–1992) — видатний фізик і математик ХХ ст., академік, засновник наукових шкіл механіки та теоретичної фізики.

Уже в 13 років його знання математики й фізики можна було порівняти з повним університетським курсом. У 19 років він захистив кандидатську дисертацію, а в 21 рік отримав науковий ступінь доктора математики без захисту дисертації.

У 1913–1950 рр. Микола Миколайович жив і працював у Києві, а з 1950 р. і до кінця свого життя — у Москві. М. М. Боголюбов був засновником і директором Інституту теоретичної фізики АН України (Київ). Цей інститут зараз носить його ім'я.

В Академіях наук Росії, України і Міжнародному інституті ядерних досліджень засновані премії імені М. М. Боголюбова.

§ 17. ІНЕРТНІСТЬ ТІЛА. МАСА ЯК МІРА ІНЕРТНОСТІ

Пригадайте: на одній із зупинок ви заходите в автобус. Людей уже чимало, всі місця заняті, багато пасажирів стоять. Автобус починає рух, і то так, що ви мусите докласти неабияких зусиль, щоб не впасти. Наступна зупинка. І знову ви змушені чіплятися за поруччя — надто різко спинився автобус. Певно, кожен з вас бував у подібній ситуації. У цьому параграфі ви дізнаєтесь, через яку властивість фізичного тіла ви відхиляєтеся назад, коли транспортний засіб набирає швидкість, і нахилиєтеся вперед у момент різкої зупинки (див. рис. 17.1).

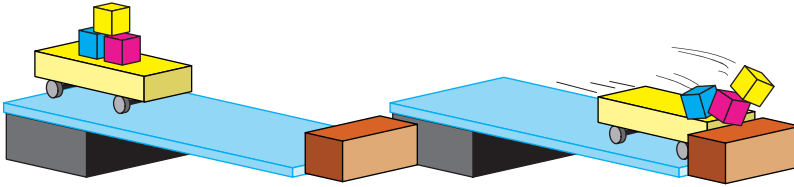


Рис. 17.1. Після того як візок зупинився, кубики продовжують рух. Чи не нагадує вам цей дослід різку зупинку автобуса?

1 Дізнаємося, що називають інертністю

Змушуючи камінець розпочати рух, ми певний час діємо на нього рукою; унаслідок дії порохових газів куля набирає певну швидкість протягом усього часу, який вона рухається всередині дула рушниці; воротар зупиняє футбольний м'яч не миттєво, а витрачає на це час.

Наш досвід показує, що не існує тіл, швидкість руху яких змінюється миттєво, — для зміни швидкості руху будь-якого тіла слід діяти на нього деякий час. Кажуть, що всі тіла «чинять опір» зміні швидкості свого руху. У фізиці таку властивість тіл називають *інертністю*.

Інертність — властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла внаслідок взаємодії потрібен час.

Інертні властивості тіла виявляються тоді, коли ми намагаємося змінити швидкість його руху (рис. 17.1, 17.2).

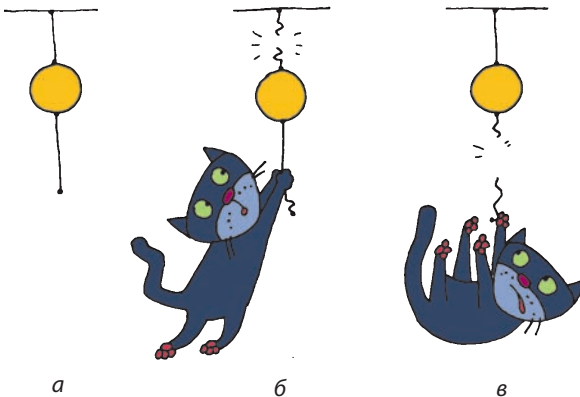


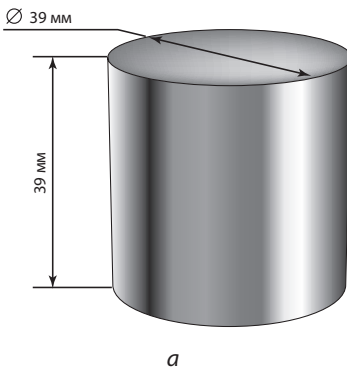
Рис. 17.2. Проведіть дослід. Підвісьте тіло на тонкій нитці, знизу прив'яжіть таку саму нитку (а).

Якщо за нитку, прив'язану до тіла знизу, тягти повільно, то врешті порветься верхня нитка (б).

Якщо нижню нитку смикнути різко, то порветься тільки вона — інертне тіло не встигне за час ривка набрати суттєву швидкість і розірвати верхню нитку (в)



Рис. 17.3. Вантажівка має більшу масу, ніж легковий автомобіль: вона інертніша (для зміни швидкості її руху потрібен більший час) й вона сильніше притягається до Землі



a



б

Рис. 17.4. Міжнародний еталон кілограма: *a* — розміри; *б* — умо-ви зберігання

2 Даємо визначення маси тіла

Швидкість руху одних тіл змінити легко, інших — набагато складніше. Наприклад, для надання за допомогою весел швидкості легкій байдарці потрібно набагато менше часу, ніж для надання тієї самої швидкості човну з вантажем. У такому випадку кажуть, що човен з вантажем *інертніший* за байдарку.

Інертність тіл характеризується фізичною величиною — *масою*. Чим більшою є маса тіла, тим більше часу потрібно для зміни швидкості його руху на певне значення під впливом тієї самої дії. Отже, *маса є мірою інертності тіла*.

Будь-яке тіло має також властивість притягатися до інших тіл завдяки гравітаційній взаємодії. Ця властивість тіл також характеризується масою (рис. 17.3).

Маса тіла — це фізична величина, яка є мірою інертності та мірою гравітаційних властивостей тіла.

Маса тіла позначається символом m (ем).

Поняття маси — одне з найскладніших у фізиці. Далі ви будете докладніше знайомитися з цією фізичною величиною. А поки що ви повинні запам'ятати: *кожне фізичне тіло має масу*.

3 Згадуємо одиницю маси

За одиницю маси в Міжнародній системі одиниць (СІ) взято **кілограм**:

$$[m] = \text{кг}.$$

Крім кілограма використовують також кратні та частинні одиниці маси, наприклад тонна (1 т), грам (1 г), міліграм (1 мг):

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

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

$$1 \text{ мг} = 0,000\,001 \text{ кг} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

Маса — це одна з основних одиниць СІ, тому для неї існує **еталон**.

Спочатку за еталон кілограма було взято один літр чистої води за температури близько $+4^\circ\text{C}$. Але такий еталон був дуже незручним для практичного застосування, і в 1880 році

було створено новий міжнародний еталон кілограма, який використовують і нині. Він являє собою циліндр, виготовлений зі сплаву платини й іридію (рис. 17.4).

Маса міжнародного еталона кілограма — рівно 1 кілограм.

Цей еталон зберігається у Франції, у Міжнародному бюро мір і ваг, яке розташоване в м. Севр (передмістя Парижа). Еталон дістають зі сховища не частіше ніж раз на 15 років, а працюють із вторинними еталонами. В Україні, в Національному науковому центрі «Метрологія» (м. Харків), зберігається національний еталон кілограма.

4 Вимірюємо масу тіла зважуванням

Найпоширеніший спосіб вимірювання маси тіл, яким користуються в побуті, — це зважування (рис. 17.5).

Зважування базується на гравітаційних властивостях тіл: чим більшою є маса тіла, тим сильніше воно притягується до Землі, тому сильніше тисне на шальки терезів.

Докладніше з вимірюванням маси тіла зважуванням ви ознайомитесь у ході виконання лабораторної роботи.

5 Дізнаємося про інший спосіб вимірювання маси

Поставимо на гладеньку горизонтальну поверхню два візки зі стиснутими пружинами. Розпрямляючись, пружини змусять візки рухатися. Спостерігаючи за візками, можна помітити:

— якщо візки є однаковими за масою, то вони наберуть однакові швидкості, а тому від'їдуть на однакову відстань від початкового положення (рис. 17.6);

— якщо один із візків має більшу масу, то він набуде меншої швидкості і, відповідно, пройде меншу відстань від початкового положення (рис. 17.7).



Рис. 17.5. Найдавніший спосіб вимірювання маси тіл — зважування

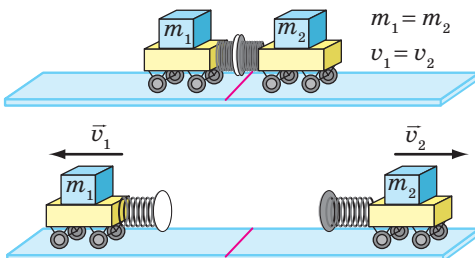


Рис. 17.6. Однакові за масою візки через дію пружин наберуть однакові за значенням швидкості

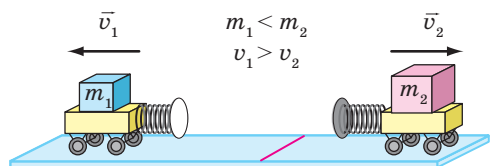


Рис. 17.7. Різні за масою візки через дію пружин наберуть різні за значенням швидкості

Численні досліди переконливо свідчать:

У разі будь-якої взаємодії двох тіл відношення мас тіл дорівнює оберненому відношенню змін швидкостей їхніх рухів:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{|\Delta v_2|}{|\Delta v_1|},$$

де m_1 і m_2 — маси тіл; Δv_1^* і Δv_2 — зміни швидкостей рухів тіл.

Зверніть увагу! Якщо початкові швидкості руху тіл дорівнюють нулю (обидва тіла перебували в стані спокою), то наведена рівність набуде вигляду:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1},$$

де m_1 і m_2 — маси тіл; v_1 і v_2 — швидкості, яких набувають тіла внаслідок взаємодії.

Одержані рівності дозволяють знайти відношення мас тіл, що взаємодіють, за вимірними змінами швидкостей їхніх рухів. Якщо ж при цьому маса одного з тіл (наприклад, m_1) відома, то можна визначити масу другого тіла (m_2):

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{|\Delta v_1|}{|\Delta v_2|}.$$

Цей спосіб вимірювання маси ґрунтується на інертних властивостях тіл — властивостях тіл по-різному змінювати швидкість свого руху внаслідок взаємодії.

На перший погляд, такий спосіб вимірювання мас є не дуже зручним, але він виявляється єдиним у разі неможливості зважити тіло на терезах. У такий спосіб визначено маси Сонця та планет Сонячної системи, маси подвійних зір в астрофізиці, маси елементарних частинок у фізиці мікросвіту тощо.

6 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Хлопчик масою 17,5 кг, який стоїть на роликах, упіймав м'яч масою 2,5 кг, що летів зі швидкістю 5 м/с. З якою швидкістю почав рухатися хлопчик (див. [рисунок](#))?

Дано:

$$m_{\text{хл}} = 22,5 \text{ кг}$$

$$m_{\text{м'яча}} = 2,5 \text{ кг}$$

$$v_{0\text{м'яча}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_{\text{хл}} \text{ — ?}$$

Аналіз фізичної проблеми. Унаслідок взаємодії м'яч

зменшує швидкість свого руху від $v_{0\text{м'яча}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ до шу-

каної швидкості руху хлопчика: $\Delta v_{\text{м'яча}} = v_{0\text{м'яча}} - v_{\text{хл}}$.

Хлопчик зі стану спокою набрав шукану швидкість:

$$\Delta v_{\text{хл}} = v_{\text{хл}} - 0 = v_{\text{хл}}.$$

* Символ Δ (дельта) означає зміну фізичної величини, перед символом якої він стоїть. Так, $\Delta v_1 = v_1 - v_{01}$, $\Delta v_2 = v_2 - v_{02}$, де v_{01} і v_{02} — швидкості рухів тіл до взаємодії, а v_1 і v_2 — швидкості їхніх рухів після взаємодії.

Пошук математичної моделі, розв'язання. Під час взаємодії відношення мас тіл дорівнює оберненому відношенню змін швидкостей їхніх

$$\text{рухів: } \frac{m_{\text{хл}}}{m_{\text{м'яча}}} = \frac{|\Delta v_{\text{м'яча}}|}{|\Delta v_{\text{хл}}|}.$$

$$\Delta v_{\text{м'яча}} = v_{0\text{м'яча}} - v_{\text{хл}}, \text{ а } \Delta v_{\text{хл}} = v_{\text{хл}},$$

$$\text{тому } \frac{m_{\text{хл}}}{m_{\text{м'яча}}} = \frac{v_{0\text{м'яча}} - v_{\text{хл}}}{v_{\text{хл}}}.$$

Знайдемо звідси швидкість руху хлопчика:

$$m_{\text{хл}} v_{\text{хл}} = m_{0\text{м'яча}} (v_{0\text{м'яча}} - v_{\text{хл}}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{хл}} v_{\text{хл}} + m_{\text{м'яча}} v_{\text{хл}} = m_{\text{м'яча}} v_{0\text{м'яча}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{\text{хл}} (m_{\text{хл}} + m_{\text{м'яча}}) = m_{\text{м'яча}} v_{0\text{м'яча}}.$$

$$\text{Отже: } v_{\text{хл}} = \frac{m_{\text{м'яча}} v_{0\text{м'яча}}}{m_{\text{хл}} + m_{\text{м'яча}}}.$$

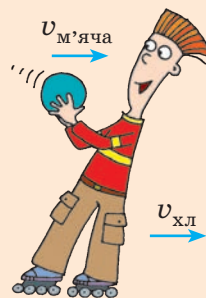
Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[v_{\text{хл}}] = \frac{\text{кг}}{\text{кг} + \text{кг}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$v_{\text{хл}} = \frac{2,5 \cdot 5}{22,5 + 2,5} = \frac{2,5 \cdot 5}{25} = 0,5 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Відповідь: хлопчик набере швидкості $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Підбиваємо підсумки

Інертність тіла — це властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла внаслідок взаємодії потрібен час.

Маса тіла (m) — це фізична величина, яка є мірою інертності та мірою гравітаційних властивостей тіла. Одиницею маси в СІ є кілограм (1 кг).

Масу тіла можна виміряти способом зважування.

Під час взаємодії двох тіл відношення їхніх мас дорівнює оберненому відношенню змін швидкостей їхніх рухів: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{|\Delta v_2|}{|\Delta v_1|}$. Порівняння змін швидкостей тіл під час взаємодії також дає можливість вимірювати маси тіл.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади, які підтверджують, що для зміни швидкості руху тіла потрібен час. **2.** Дайте визначення інертності. **3.** Які властивості тіла характеризує його маса? **4.** Назвіть одиниці маси в СІ. **5.** Яке тіло є еталоном маси в СІ? **6.** Якою залежністю пов'язані відношення мас тіл, які взаємодіють, і відношення змін швидкостей їхніх рухів? **7.** Назвіть способи вимірювання маси тіла. На якій властивості тіла ґрунтується кожен із названих способів? **8.** Наведіть приклади вимірювання маси тіла: а) способом зважування; б) способом порівняння змін швидкостей руху тіл під час взаємодії.



Вправа № 17

- Щоб об'їхати перешкоду, водій автобуса повернув праворуч. У який бік відхилиться пасажир? а) ліворуч; б) праворуч; в) уперед; г) назад.
- Чому дуже легко змінити швидкість маленької тенісної кульки, а зупинити вантажний автомобіль доволі важко?
- Маса склянки із соком становить 340 г 270 мг. Обчисліть масу налитого в склянку соку, якщо відомо, що маса склянки дорівнює 150 г 530 мг.
- Із човна, що перебував у спокої, зіскочив хлопчик. Швидкість руху хлопчика становила 4 м/с. Якою є маса хлопчика, якщо човен масою 180 кг набрав швидкість 1 м/с?
- Чому під час ожеледиці перехід автомагістралі стає вкрай небезпечним?
- Чи можна вважати за достовірні свідчення про те, що непізнані летючі об'єкти (НЛО) можуть миттєво змінювати швидкість свого руху за значенням і напрямком?
- Снаряд феєрверка було пущено вертикально вгору. У верхній точці траєкторії снаряд розірвався на дві частини масами 200 і 500 г. Яку швидкість руху набрав другий уламок, якщо перший після вибуху рухався зі швидкістю 50 м/с?
- Придумайте задачу, обернену до задачі, розглянутої в параграфі, та розв'яжіть її.
- Згадайте про чищення ковдр двома способами: вибиванням пилу за допомогою палиці та витрушування різкими змахами. Чим відрізняються ці два способи з точки зору фізики?
- Світ тварин надзвичайно різноманітний. Виберіть декілька груп тварин на клас (наприклад, птахи, риби, комахи, ссавці тощо) і, скориставшись Інтернетом або додатковою літературою, підготуйте інформаційні листи про «рекордсменів» за масою серед вибраних груп.

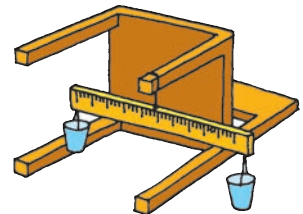


- На лівій шальці зрівноважених терезів лежить тіло, масу якого необхідно виміряти, а на правій — такі важки: два по 20 г, по одному важку 5 і 100 г, по одному важку 10, 20, 200 мг. Визначте масу тіла та подайте її в грамах і кілограмах.



Експериментальне завдання

«Терези власноруч». Зробіть терези, використавши учнівську лінійку, два пластикові стаканчики, нитки (див. рисунок). Як важки візьміть різні монети (їхні маси подано в таблиці). За допомогою виготовлених вами терезів визначте масу декількох невеликих тіл.



Номинал монети	1 к.	2 к.	5 к.	10 к.	25 к.	50 к.
Маса монети, г	1,5	1,8	4,3	1,7	2,9	4,2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема. Вимірювання маси тіл способом зважування.

Мета: навчитися працювати з важільними терезами та визначати масу тіл за їхньою допомогою.

Обладнання: важільні терези, набір важків, два тіла для зважування, хімічна склянка, колба з водою.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

Уважно прочитайте правила зважування.

Правила зважування

1. Терези ставлять перед собою, праворуч від них розташовують футляр із важками. (Учні, у яких провідна рука ліва, футляр розташовують навпаки, ліворуч. Відповідно слід чинити й далі.)
2. До початку зважування необхідно зрівноважити терези.
Нагадуємо! Для зрівноважування терезів на ліву шальку слід покласти смужки паперу.
3. Зважуване тіло акуратно кладуть на ліву шальку терезів.
4. Важки виймають із футляра спеціальним пінцетом і кладуть на праву шальку терезів.
5. Починають зважування з важка, маса якого близька до маси зважуваного тіла. Якщо виявиться, що маса цього важка є більшою, ніж маса тіла, важок ставлять назад у футляр, а на його місце кладуть важок меншої маси. Якщо маса важка недостатня для зрівноважування терезів, додають важки меншої маси доти, доки буде досягнуто рівноваги.
6. Зрівноваживши терези, підраховують загальну масу важків, що лежать на шальці, і за допомогою пінцета переносять їх назад у футляр.
7. Закінчивши зважування, перевіряють, чи всі важки покладено у футляр і чи кожен із них є на призначеному для нього місці.
Нагадуємо! На шальки терезів не можна класти вологі, брудні, гарячі тіла, наливати рідини й без підкладки насипати порошки.



Експеримент

1. Чітко дотримуючись правил зважування, виміряйте масу:
 - а) запропонованих вам тіл;
 - б) порожньої хімічної склянки;
 - в) склянки з певною кількістю води.
2. Результати всіх зважувань занесіть до таблиці.

Зважуване тіло	Набір важків на шальці	Маса тіла m_0 , г	Результат вимірювання маси $m_0 \pm \Delta m$, г	Найменше ймовірне значення маси $m_0 - \Delta m$, г	Найбільше ймовірне значення маси $m_0 + \Delta m$, г

Опрацювання результатів експерименту

1. Вважаючи, що абсолютна похибка вимірювання маси під час зважування на навчальних терезах дорівнює $\Delta m = 0,02$ г, запишіть результати вимірювання маси запропонованих тіл у вигляді:
 $m = m_0 \pm \Delta m$.
2. Знайдіть найбільші ймовірні ($m_0 + \Delta m$) та найменші ймовірні ($m_0 - \Delta m$) значення мас запропонованих тіл.
3. Закінчить заповнення таблиці.
4. Обчисліть масу води в склянці як різницю маси склянки з водою і маси порожньої склянки.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте, яку фізичну величину і за допомогою якого приладу ви вимірювали, які чинники вплинули на точність вимірювання, масу якого тіла виміряно з найбільшою точністю.

**Творче завдання**

Виміряйте масу скріпки, визначте абсолютну похибку та запишіть результат у вигляді:
 $m = m_0 \pm \Delta m$.

§ 18. ГУСТИНА. ОДИНИЦІ ГУСТИНИ

Ми часто вживаємо вирази «легкий, мов повітря» або «важкий, як свинець». Але чи знаєте ви, що повітря всередині, скажімо, супермаркету важить більш ніж 400 кг? Підняти таку масу не подужає й силач. Натомість свинцевий тягарець для вудки легко підніме навіть малюк. Отже, наведені вище вирази є хибними? З'ясуємо, у чому тут річ.

1 Здійснюємо деякі вимірювання та робимо розрахунки

На рис. 18.1 ви бачите два суцільні свинцеві бруски різного розміру. Маса цих брусків теж буде різною. Пропонуємо вам знайти фізичну величину, яка буде однаковою для обох брусків і характеризуватиме свинець, із якого бруски виготовлені.

Спочатку, скориставшись рис. 18.1, виміряйте довжину, ширину й висоту брусків та обчисліть їхні об'єми (V_1 і V_2).

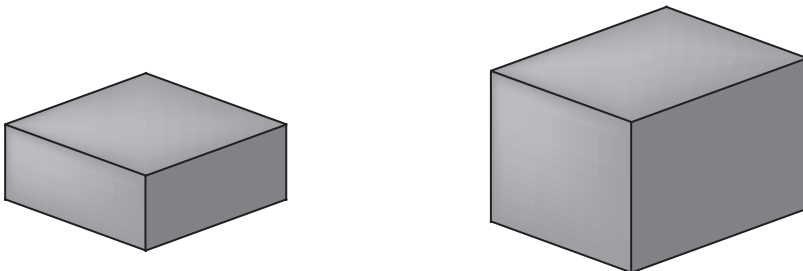


Рис. 18.1. Два свинцеві бруски, зображені в натуральну величину

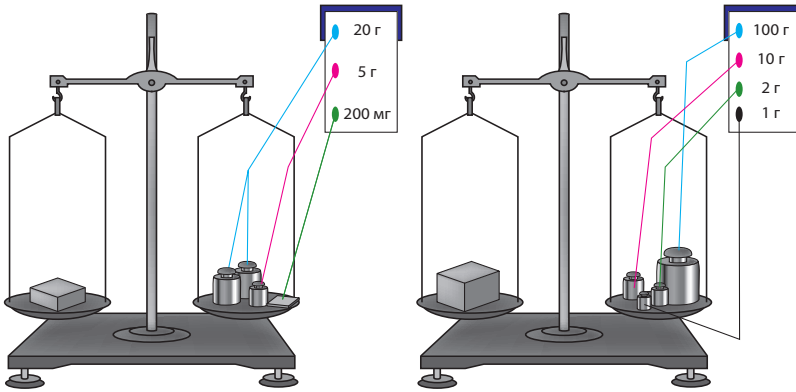


Рис. 18.2. Вимірювання мас свинцевих брусків, зображених на рис. 18.1

Визначивши об'єми брусків, виміряйте їхні маси (m_1 і m_2). Терези перебувають у рівновазі, ваше завдання — порахувати масу важків (рис. 18.2).

Знайдіть відношення маси кожного бруска до його об'єму ($\frac{m_1}{V_1}$ і $\frac{m_2}{V_2}$), тобто дізнайтеся, чому дорівнює маса свинцю об'ємом 1 см^3 для меншого і для більшого брусків.

Сподіваємося, що ви все зробили правильно і для обох брусків отримали однакові результати:

$$\frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2} = 11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Отже, маса свинцю об'ємом 1 см^3 для кожного бруска дорівнює $11,3 \text{ г}$.

2 Даємо визначення густини речовини

Якщо взяти два інших суцільних тіла, виготовлених, наприклад, з алюмінію, і повторити дії, описані в п. 1, то знову побачимо, що відношення мас алюмінієвих тіл до їхніх об'ємів *не залежить від розмірів тіл*. Ми знову одержимо рівні результати, але вже інші, ніж у досліді зі свинцем. Відношення маси тіла до його об'єму є характеристикою речовини, з якої це тіло виготовлене, і називається *густиною речовини*.

Густина речовини — це фізична величина, яка характеризує речовину і дорівнює відношенню маси суцільного тіла, виготовленого з цієї речовини, до об'єму цього тіла:

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

де ρ — густина речовини, V — об'єм тіла (об'єм, зайнятий речовиною); m — маса тіла.

Із визначення густини дістанемо одиницю густини. У СІ одиницею маси є кілограм, а одиницею об'єму — метр кубічний, тому *одиниця густини в СІ — кілограм на метр кубічний*:

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

$$1 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} = 0,001 \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3}$$

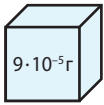
$$1 \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3} = 1000 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$$

$1 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$ — це густина такої однорідної речовини, маса якої в об'ємі один метр кубічний дорівнює одному кілограму.

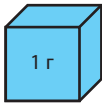
На практиці також застосовують одиницю густини *грам на сантиметр кубічний* $\left(\frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3}\right)$.

Одиниці густини кілограм на метр кубічний і грам на сантиметр кубічний пов'язані співвідношенням:

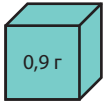
$$1 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} = \frac{1 \cdot 1000 \text{ г}}{100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см} \cdot 100 \text{ см}} = 0,001 \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3}$$



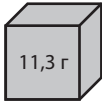
Водень



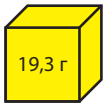
Вода



Лід



Свинець



Золото

Речовина
нейтронної зорі

Рис. 18.3. Густина чисельно дорівнює масі речовини одиничного об'єму. На рисунку зазначено масу 1 см^3 відповідної речовини

3 Порівнюємо густини різних речовин

Густини різних речовин можуть суттєво різнитись одна від одної (рис. 18.3). Розглянемо кілька прикладів:

— густина води 1000 кг/м^3 — це означає, що маса води об'ємом 1 м^3 дорівнює 1000 кг ;

— густина свинцю $11\,300 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$, тобто свинець об'ємом 1 м^3 має масу $11\,300 \text{ кг}$, або $11,3 \text{ т}$;

— густина речовини нейтронної зорі сягає $10^{18} \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$, маса такої речовини об'ємом 1 см^3 дорівнює 1 млрд т .

У таблицях нижче наведено густини деяких речовин.

Таблиця густин деяких речовин у газоподібному стані
(за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$ та нормального атмосферного тиску)

Речовина	ρ , кг/м^3	ρ , г/см^3	Речовина	ρ , кг/м^3	ρ , г/см^3
Хлор	3,210	0,003 21	Азот	1,250	0,001 25
Вуглекислий газ	1,980	0,001 98	Чадний газ	1,250	0,001 25
Кисень	1,430	0,001 43	Гелій	0,180	0,000 18
Повітря	1,290	0,001 29	Водень	0,090	0,000 09

Таблиця густин деяких речовин у твердому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Осмій	22 500	22,50	Мармур	2700	2,70
Іридій	22 400	22,40	Граніт	2600	2,60
Платина	21 500	21,50	Скло	2500	2,50
Золото	19 300	19,30	Порцеляна	2300	2,30
Свинець	11 300	11,30	Бетон	2200	2,20
Срібло	10 500	10,50	Оргскло	1200	1,20
Мідь	8900	8,90	Капрон	1140	1,14
Латунь	8500	8,50	Поліетилен	940	0,94
Сталь, залізо	7800	7,80	Парафін	900	0,90
Олово	7300	7,30	Лід	900	0,90
Цинк	7100	7,10	Дуб сухий	800	0,80
Чавун	7000	7,00	Сосна суха	440	0,44
Алюміній	2700	2,70	Корок	240	0,24

Таблиця густин деяких речовин у рідкому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Ртуть	13 600	13,60	Бензол	880	0,88
Рідке олово (за $t = 409\text{ }^{\circ}\text{C}$)	6830	6,83	Дизельне паливо	840	0,84
Сульфатна кислота	1800	1,80	Нафта	800	0,80
Мед	1420	1,42	Гас	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Спирт	800	0,80
Вода чиста	1000	1,00	Ацетон	790	0,79
Олія, мастило	900	0,90	Бензин	710	0,71

4 З'ясуємо, від яких чинників залежить густина речовини

Густина — це характеристика речовини, вона не залежить ані від маси тіла, виготовленого з цієї речовини, ані від його об'єму. Якщо масу речовини збільшити, наприклад, у два рази, то об'єм, який вона займе, теж зросте у два рази, тобто відношення маси до об'єму не зміниться.

Проте *густина суттєво залежить від агрегатного стану та температури речовини*. Причину такої залежності пояснює молекулярно-кінетична теорія.

Якщо речовина змінює свій стан (наприклад, переходить із рідкого стану в газоподібний) то кількість частинок (молекул, атомів, йонів) і маса кожної з них не змінюються. Отже, маса речовини залишається незмінною. Проте середня відстань між частинками збільшується (рис. 18.4), тому збільшується об'єм речовини. За визначенням $\rho = \frac{m}{V}$. Оскільки маса (m) незмінна, а об'єм (V) збільшується, то густина речовини (ρ) зменшується.

Зі збільшенням температури збільшується і швидкість хаотичного руху частинок речовини. У результаті збільшується середня відстань між частинками, відповідно, збільшується й об'єм тіла. Тому густина речовини зменшується.

І навпаки, чим нижчою є температура речовини, тим менші міжмолекулярні проміжки, тобто меншим є об'єм речовини і більшою є її густина*.

5 Учимося обчислювати густину, масу та об'єм фізичного тіла

Одним зі способів дізнатися, з якої речовини складається фізичне тіло, є обчислення густини тіла, а потім порівняння одержаного результату з даними таблиці густин.

Для визначення густини тіла слід виміряти його масу та об'єм, а потім знайти відношення маси тіла до його об'єму.

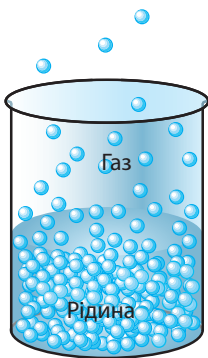


Рис 18.4. Відстань між молекулами рідини набагато менша, ніж відстань між молекулами газу



Рис. 18.5. Густина речовини, з якої складається брила, становить 900 кг/м^3 . Найімовірніше, брила льодяна

* Винятками є вода, чавун і деякі інші речовини. Вода, наприклад, під час нагрівання від 0°C до 4°C свій об'єм зменшує.

Наприклад, якщо брила об'ємом $V = 3 \text{ м}^3$ має масу $m = 2700 \text{ кг}$, то густина ρ речовини, з якої вона складається, дорівнює 900 кг/м^3 :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2700 \text{ кг}}{3 \text{ м}^3} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

За таблицею виявляємо, що брила складається з речовини, яка має таку саму густину, що й лід (рис. 18.5).

У наведених вище прикладах ми розглядали суцільні однорідні тіла, тобто тіла, що не мають порожнин і складаються з однієї речовини (льодяна брила, свинцевий брусок, золотий куб).

Якщо в тілі є порожнини або воно складається з різних речовин (наприклад корабель, футбольний м'яч, людина), то говорять *про середню густину тіла*, яку також обчислюють за формулою:

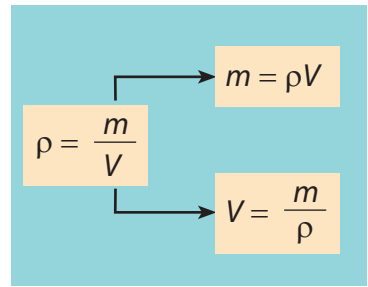
$$\rho = \frac{m}{V},$$

де ρ — середня густина тіла; V — об'єм тіла; m — маса тіла.

Середня густина тіла людини, наприклад, становить $1036 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Знаючи об'єм тіла та густину речовини, з якої воно виготовлене (або середню густину тіла), можна визначити масу тіла без зважування. Справді, якщо $\rho = \frac{m}{V}$, то $m = \rho V$.

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



Підбиваємо підсумки

Фізична величина, яка характеризує певну речовину та дорівнює відношенню маси суцільного тіла, виготовленого з цієї речовини, до об'єму тіла, називається густиною речовини.

Густину речовини та густину тіла можна розрахувати за формулою $\rho = \frac{m}{V}$.

Одиницею густини в СІ є кілограм на метр кубічний $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$. Також використовують одиницю густини грам на сантиметр кубічний $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$. Ці одиниці пов'язані між собою співвідношенням: $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Знаючи об'єм тіла та його густину, можна знайти масу тіла: $m = \rho V$. Відповідно за відомими масою та густиною можна знайти об'єм тіла: $V = \frac{m}{\rho}$.



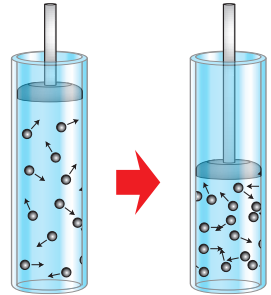
Контрольні запитання

1. Чи залежить відношення маси речовини до її об'єму від роду речовини? від об'єму речовини? від маси речовини? **2.** Дайте визначення густини речовини. **3.** Які вимірювання необхідно здійснити, щоб визначити густину речовини? **4.** Які одиниці густини ви знаєте? **5.** Як подати густину в грамах на сантиметр кубічний (г/см^3), якщо її подано в кілограмах на метр кубічний (кг/м^3)? **6.** Чи залежить густина речовини від температури та агрегатного стану речовини? Якщо залежить, то як? Відповідь поясніть. **7.** Як обчислити масу тіла за його густиною та об'ємом? **8.** Як визначити об'єм тіла, знаючи його густину та масу?



Вправа № 18

- У циліндрі під поршнем міститься кисень. Поршень починають опускати (див. рисунок). Як при цьому змінюються: а) маса газу; б) об'єм газу; в) густина газу?
- Густина платини дорівнює 21500 кг/м^3 . Якою є маса платини об'ємом 1 м^3 ? 1 см^3 ?
- Знайдіть у таблиці значення густини повітря та густини свинцю. Що вони означають? Значення якої величини ми насправді порівнюємо, коли говоримо: «легкий, мов повітря», «важкий, як свинець»?
- У яких випадках маси тіл однакового об'єму будуть рівними?
- Одна з двох однакових посудин наповнена медом, друга — олією. Маса якої рідини більша і в скільки разів?
- Два кубики мають однакову масу. Перший кубик виготовлений з оргскла, другий — з дуба. Об'єм якого кубика є меншим і в скільки разів?



Експериментальне завдання

«Хто густіший». Визначте середню густину власного тіла, знаючи свою масу. Об'єм тіла можна знайти, вимірявши кількість води, яку ви витісните під час занурення у ванну. *Підказка:* вам знадобляться посудини відомого об'єму, наприклад каструля та пластикова пляшка.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Визначення густин твердого тіла та рідини.

Мета: визначити густини пропонованих твердих тіл і рідини.

Обладнання: терези з важками; мірний циліндр; лінійка; досліджувані тверді тіла (дерев'яний брусок і металеве тіло з ниткою); склянка з досліджуваною рідиною; паперові серветки.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перш ніж розпочати вимірювання, згадайте:
 - формулу, за якою обчислюють густину;
 - прилади, за допомогою яких можна визначити об'єм твердого тіла;
 - правила знімання показів мірного циліндра;

- 4) правила роботи з важільними терезами;
 - 5) запобіжні заходи, яких необхідно дотримуватися під час роботи з мірним циліндром.
2. Визначте й запишіть ціну поділки шкали лінійки та ціну поділки шкали мірного циліндра.

Експеримент

Результати вимірювань і обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Виміряйте довжину, ширину та висоту бруска за допомогою лінійки.
2. Виміряйте масу бруска за допомогою терезів.
3. Виміряйте масу металевого тіла за допомогою терезів.
4. Виміряйте об'єм металевого тіла за допомогою мірного циліндра (рис. 1).
5. Виміряйте масу склянки з досліджуваною рідиною.
6. Перелийте рідину в мірний циліндр і виміряйте її об'єм.
7. Виміряйте масу порожньої склянки.

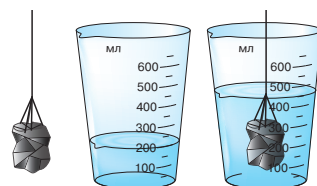


Рис. 1

Досліджуване тіло або рідина	Маса m , г	Об'єм V , см^3	Густина ρ		Речовина
			$\text{г}/\text{см}^3$	$\text{кг}/\text{м}^3$	

Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть об'єм бруска та визначте густину речовини, з якої він виготовлений.
2. Обчисліть густину металу, з якого виготовлене металеве тіло.
3. Обчисліть масу досліджуваної рідини та визначте її густину.
4. Користуючись таблицями густин, визначте назву досліджуваної рідини, а також речовин, з яких виготовлені досліджувані тіла.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте чинники, що могли вплинути на точність результатів.



Творче завдання

Запропонуйте способи — теоретичний та експериментальний, — скориставшись якими, можна знайти масу води, що виллється з відливної посудини (рис. 2), якщо в неї повільно занурити алюмінієвий кубик з ребром 3 см.

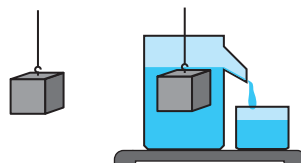


Рис. 2

§ 19. УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Нагадаємо, що, беручись до розв'язування задач із фізики, перш за все необхідно уважно кілька разів прочитати умову задачі й усвідомити, яке саме явище описано в задачі, яке тіло розглядається. Тобто слід відтворити картину, яку описує задача, а вже потім розпочинати пошук відповіді.

Для цього потрібно згадати основні закони, встановити зв'язки між фізичними величинами, розв'язати задачу в загальному вигляді, перевірити одиницю шуканої величини, знайти її числове значення та обов'язково проаналізувати результат.

Отже, уважно читаємо, думаємо, розв'язуємо. Спочатку краще працювати самостійно, а вже потім дивитися, чи все ви зробили правильно.

Задача 1. Вам потрібно купити 3 кг олії, а ви маєте лише пластиковий бутель місткістю 3 літри. Чи вміститься в нього необхідна кількість олії?

Дано:

$$\rho = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$V_0 = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$$

V — ?

Аналіз фізичної проблеми.

З'ясувати, чи вмістяться 3 кг олії в пластиковий бутель місткістю 3 л, ми можемо двома способами:

- 1) визначити, скільки кілограмів олії вміщується в бутель місткістю 3 л;
- 2) визначити, який об'єм займає олія масою 3 кг.

У будь-якому разі необхідно знати густину олії — це значення можна знайти в таблиці густин. Перед цим слід визначитися, в яких одиницях краще розв'язувати задачу. Цю задачу краще розв'язувати в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі. Розв'язання. За визначенням, густина олії дорівнює: $\rho = \frac{m}{V}$.

Маса та густина олії відомі, звідки знайдемо її об'єм: $V = \frac{m}{\rho}$.

$$\text{Перевіримо одиницю: } [V] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}} = \text{м}^3.$$

$$\text{Визначимо числове значення: } V = \frac{3}{900} = 0,0033 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Аналіз результату. Місткість бутля ($V_0 = 0,003 \text{ м}^3$) є меншою, ніж об'єм ($V = 0,0033 \text{ м}^3$), який займає олія масою 3 кг.

Відповідь: олія в бутель не вміститься.



Задача 2. Суцільний кубик із ребром 2 см має масу 20 г. З якого матеріалу може бути виготовлений кубик?

Дано:

$$a = 2 \text{ см}$$

$$m = 20 \text{ г}$$

ρ — ?

Аналіз фізичної проблеми. Щоб відповісти на запитання, необхідно визначити густину речовини, з якої виготовлений кубик, а потім скористатися таблицею густин. Цю задачу краще розв'язувати в поданих одиницях.



Пошук математичної моделі. Розв'язання.

За визначенням густини: $\rho = \frac{m}{V}$.

Об'єм куба можна обчислити за формулою: $V = a^3$.

Отже, маємо: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$.

Перевіримо одиницю: $[V] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Знайдемо числове значення:

$$\rho = \frac{20}{2^3} = \frac{20}{8} = 2,5 \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right).$$

Аналіз результату. За таблицею густин виявимо, що густину $2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ має скло.

Відповідь: кубик може бути виготовлений зі скла.

Задача 3. Свинцева куля об'ємом 60 см^3 має масу $0,565 \text{ кг}$. Визначте, суцільна ця куля чи має порожнину. Якщо куля має порожнину, то визначте об'єм порожнини.

Дано:

$$V_{\text{к}} = 60 \text{ см}^3$$

$$m_{\text{св}} = 0,565 \text{ кг} =$$

$$= 565 \text{ г}$$

$$\rho_{\text{св}} = 11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$V_{\text{пор}}$ — ?

Аналіз фізичної проблеми.

Виконаємо пояснювальний рисунок. Якщо $V_{\text{к}} > V_{\text{св}}$, то куля має порожнину, а об'єм порожнини дорівнює: $V_{\text{пор}} = V_{\text{к}} - V_{\text{св}}$.

Визначаючи об'єм свинцю, масу повітря не враховуємо, адже вона нехтовно мала:

$$m_{\text{св}} = m_{\text{к}} = 0,565 \text{ кг}.$$

Густину свинцю знайдемо в таблиці густин.

У цій задачі краще масу подати в грамах, об'єм — у сантиметрах кубічних, густину — в грамах на сантиметр кубічний.



Пошук математичної моделі. Розв'язання.

1. Знайдемо об'єм свинцю.

За визначенням густини: $\rho_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{V_{\text{св}}}$, тому $V_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}}$.

$$V_{\text{св}} = \frac{565 \text{ г}}{11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = \frac{565 \text{ г} \cdot \text{см}^3}{11,3 \text{ г}} = 50 \text{ см}^3.$$

Аналіз результатів: $V_{\text{к}} > V_{\text{св}}$, отже, куля має порожнину.

2. Визначимо об'єм порожнини:

$$V_{\text{пор}} = V_{\text{к}} - V_{\text{св}} = 60 \text{ см}^3 - 50 \text{ см}^3 = 10 \text{ см}^3.$$

Відповідь: куля має порожнину об'ємом 10 см^3 .

Задача 4. Скільки залізничних цистерн потрібно для перевезення 1080 т нафти, якщо об'єм кожної цистерни дорівнює 25 м^3 ?

Дано:

$$m = 1080 \text{ т} = 1\,080\,000 \text{ кг}$$

$$\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_0 = 25 \text{ м}^3$$

N — ?

Аналіз фізичної проблеми.

Кількість цистерн можна знайти, якщо загальний об'єм нафти поділити на місткість однієї цистерни.

Загальний об'єм нафти визначимо за її масою та густиною. Густину нафти знайдемо в таблиці густин. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі. Розв'язання. Кількість цистерн N знайдемо за формулою:

$$N = \frac{V}{V_0} \quad (1),$$

де V — загальний об'єм нафти; V_0 — місткість цистерни.

$$\text{За визначенням густини: } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \quad (2).$$

Підставивши формулу (2) у формулу (1), знайдемо загальну кількість цистерн:

$$N = \frac{V}{V_0} = \frac{m}{\rho} : V_0 = \frac{m}{\rho V_0}.$$

$$\text{Перевіримо одиницю: } [N] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = 1.$$

$$\text{Знайдемо числове значення: } N = \frac{1\,080\,000}{800 \cdot 25} = 54.$$

Аналіз результатів. Кількість цистерн, одержана в результаті розрахунків, є цілком реальною.

Відповідь: потрібно 54 цистерни.



Задача 5. У мензурку з водою (рис. 1) занурили металевий циліндр масою 675 г (рис. 2). Визначте густину речовини, з якої виготовлений циліндр. Що це за речовина?

Дано:

$$V_1 = 200 \text{ см}^3$$

$$V_2 = 450 \text{ см}^3$$

$$m = 675 \text{ г}$$

$\rho = ?$

Аналіз фізичної проблеми.

Для визначення густини речовини, з якої виготовлений циліндр, необхідно знати об'єм та масу циліндра.

Маса циліндра відома з умови задачі. Об'єм обчислимо як різницю рівнів води до і після занурення циліндра.

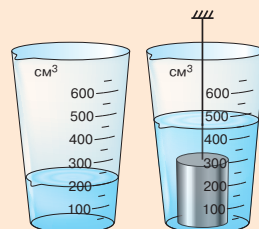


Рис. 1

Рис. 2

Задачу краще розв'язувати в поданих одиницях.

Пошук математичної моделі. Розв'язання.

За визначенням густини: $\rho = \frac{m}{V}$.

Об'єм циліндра обчислимо за формулою: $V = V_2 - V_1$.

Отже, густина речовини дорівнює: $\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}$.

Обчислимо значення шуканої величини:

$$\rho = \frac{675 \text{ г}}{450 \text{ см}^3 - 200 \text{ см}^3} = \frac{675 \text{ г}}{250 \text{ см}^3} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Аналіз результатів. Скориставшись таблицею густин, виявимо, що густину $2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ має алюміній.

Відповідь: густина речовини $2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; циліндр може бути виготовлений з алюмінію.



Вправа № 19

- З якого матеріалу виготовлений дитячий кубик, об'єм якого дорівнює 250 см^3 , а маса — 110 г ?
- У бак для пального автобуса уміщується 84 кг дизельного палива. Визначте місткість бака. Відповідь подайте в літрах.
- Знайдіть значення фізичних величин (m , V або ρ), яких бракує. Зверніть увагу на одиниці.
а) $m = 18 \text{ кг}$, $V = 0,02 \text{ м}^3$; б) $m = 140 \text{ г}$, $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$; в) $V = 10 \text{ м}^3$, $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$.
- Щоб визначити місткість посудини, її зважили, потім до краю заповнили водою і знову зважили. Визначте місткість посудини, якщо маса порожньої посудини дорівнює $1,2 \text{ кг}$, а маса посудини з водою — $11,2 \text{ кг}$.
- Маса срібної фігурки становить 707 г , а її об'єм дорівнює $0,7 \text{ дм}^3$. Визначте, суцільна це фігурка чи має порожнину. Відповідь обґрунтуйте.
- Об'єм залізничної цистерни дорівнює 30 м^3 . Скільки тонн нафти привезе потяг із 50 цистерн?



7. Що більше — маса вчителя фізкультури чи маса повітря в спортзалі, якщо маса вчителя становить 80 кг, а розміри спортзалу $20 \times 10 \times 5$ м? Об'ємом, який займає в спортзалі спортивний інвентар, знехтуйте.
8. Розв'яжіть задачу 4, розглянуту в цьому параграфі, іншим способом.
9. Складіть задачу, обернену до задачі 5, розглянутої в цьому параграфі, та розв'яжіть її.
10. Алюмінієвий циліндр масою 1,35 кг повністю занурили в посудину, до країв наповнену спиртом. Якою є маса спирту, що вилився?
11. Наведіть приклади взаємодії тіл, з якою ви стикаєтесь у побуті, школі, під час занять спортом тощо. Які зміни при цьому відбуваються з тілами?



Експериментальні завдання

1. «Фізика на кухні». Визначте густину сирої картоплі. Скористайтесь обладнанням, зображеним на рисунку. Можете визначити також густину інших овочів, які є на вашій кухні. Пам'ятайте: щоб правильно визначити об'єм тіла, його слід занурити у воду повністю.
2. «Викриваємо шахрая». За легендою, давньогрецький учений Архімед допоміг викрити шахрайство ювеліра. На замовлення царя Сиракуз Герона ювелір виготовив золоту корону, призначену стати дарунком безсмертним богам. Архімед узяв зливков золота, маса якого дорівнювала масі корони, наповнив водою до країв посудину і... Як ви гадаєте, що зробив Архімед? Змоделюйте розв'язання цієї задачі.



§ 20. СИЛА — МІРА ВЗАЄМОДІЇ. ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СИЛ. ДОДАВАННЯ СИЛ

З поняттям сили в буквальному значенні ми стикаємося на кожному кроці. У побуті зміст слова «сила» й утворених від нього «силач», «сильний» пов'язаний з можливостями людини, тварини, механізму, з інтенсивністю прояву природних явищ. Ми говоримо «найсильніша людина», «сила волі», «сильні почуття», «сильний мороз», «сильний двигун». А який зміст вкладають у поняття «сила» фізики?

1 Дізнаємося, що означає поняття «сила» у фізиці

Уже зазначалось, що причиною зміни швидкості руху тіла є його взаємодія з іншими тілами.

Для того щоб тенісний м'яч повернувся на бік суперника, ви б'єте по м'ячу ракеткою, але і м'яч «б'є» по ракетці. Для того щоб зупинити велосипед, ви натискаєте на рукоятку велосипедного гальма і водночас відчуваєте, як рукоятка тисне на ваші долоні.

Зверніть увагу: у будь-якому випадку результат залежить від того, наскільки *сильною* буде взаємодія: сильніше вдарите по м'ячу — м'яч набере більшу швидкість (рис. 20.1); сильніше натиснете на гальма — скоріше зупиниться велосипед.

Очевидно, що «ступінь взаємодії» потрібно якось вимірювати. Саме для цього й слугує *сила* — *фізична величина, яка є кількісною характеристикою взаємодії тіл.*

Сила — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл)

У фізиці прийнято говорити, що саме *сила є причиною зміни швидкості руху тіла*.

Силу зазвичай позначають символом F (від англ. *force* — сила). Одиницею сили в СІ є **ньютон** (на честь Ісаака Ньютона):

$$[F] = \text{Н}.$$

1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг протягом 1 с, змінює швидкість його руху на 1 м/с.

Чим більша сила діє на тіло, тим помітніше буде змінюватися швидкість його руху (рис. 20.1). Щоб тіла різної маси змінювали швидкості своїх рухів однаково, на них мають діяти різні сили (рис. 20.2).

2 Зображуємо сили

Сила спричиняє зміну швидкості руху тіла як за значенням, так і за напрямком, тому її характеризуватися сила має не лише значенням, але й напрямком.

Згадайте: фізичні величини, які мають значення та напрямком, називають векторними. Отже, *сила — векторна величина*. Векторні величини на рисунках зображують у вигляді стрілок. Відповідно, стрілкою будемо зображувати й вектор сили, яка діє на тіло.

Вектор сили починають у точці, куди прикладена сила (цю точку так і називають — *точка прикладання сили*), і напрямляють у напрямку дії сили. Довжину стрілки часто обирають такою, щоб вона в певному масштабі відповідала значенню сили (рис. 20.3)

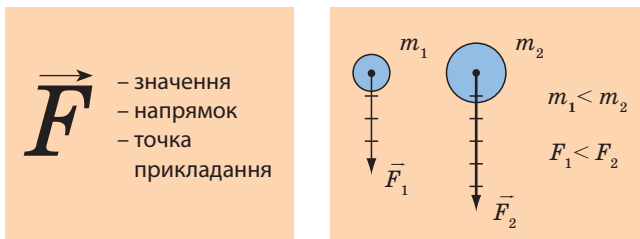


Рис. 20.3. На тіло масою $m_1 = 400$ г з боку Землі діє сила $F_1 = 4$ Н, а на тіло масою $m_2 = 600$ г — сила $F_2 = 6$ Н. Довжини стрілок, які зображують ці сили, у певному масштабі дорівнюють значенням сил

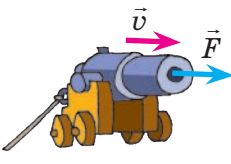

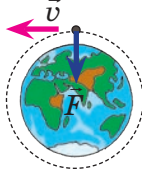
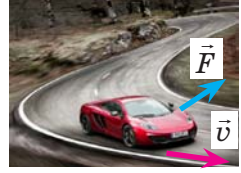


Рис. 20.1. Дорослий тенісист здатний змусити м'яч летіти зі швидкістю руху перегонового автомобіля (а); малюк не може сильно вдарити по м'ячу, а тому лише трохи змінить швидкість його руху (б)



Рис. 20.2. Щоб важкий автомобіль (а) міг розігнатися так само швидко, як легкий мотоцикл (б), на автомобіль слід установити потужніший двигун

Залежно від напрямку сила може спричиняти збільшення, зменшення або зміну напрямку швидкості руху тіла:

Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла	Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла	Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла	Сила напрямлена під кутом до напрямку руху тіла
			
Значення швидкості руху тіла збільшується	Значення швидкості тіла зменшується	Змінюється лише напрямок швидкості руху тіла	Змінюються значення і напрямок швидкості руху тіла

3 Додаємо сили, що діють уздовж однієї прямої

На тіло може діяти не одна сила, а дві, три або більше. Дізнаємося, як знайти результат спільної дії двох сил, що діють на тіло в одному напрямку, і сил, що діють у протилежних напрямках.

Поставимо на стіл візок і прив'яжемо до нього дві нитки. Потягнемо за одну нитку із силою 5 Н, а за другу — у тому ж напрямку із силою 3 Н (рис. 20.4). Візок почне рухатися, збільшуючи швидкість свого руху. Збільшення швидкості руху візка буде таким самим, як коли б на нього діяла одна сила 8 Н. Силу 8 Н, якою в цьому випадку можна замінити дві сили 5 і 3 Н, називають **рівнодійною** двох сил і позначають символом R (або F).

Силу, яка здійснює на тіло таку саму дію, як декілька сил, що діють одночасно, називають **рівнодійною** цих сил.

Якщо за дві нитки одночасно тягти візок у протилежні боки (рис. 20.5), то сили не «допомагатимуть» одна одній розганяти візок, а навпаки — «заважатимуть». У такому випадку візок буде рухатися так, ніби на нього діє сила 2 Н, напрямлена в бік дії сили 5 Н. Тобто тут рівнодійною двох сил 5 і 3 Н буде сила 2 Н.

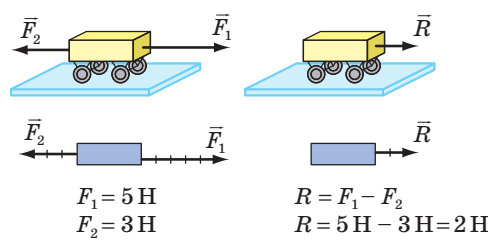
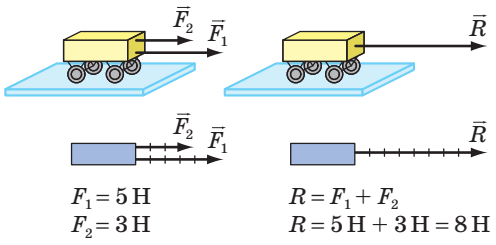


Рис. 20.4. Коли дві сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що діють на тіло, напрямлені в один бік, то напрямок рівнодійної збігається з напрямком дії сил, а значення рівнодійної обчислюють за формулою: $R = F_1 + F_2$.

Рис. 20.5. Коли дві сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що діють на тіло, напрямлені протилежно, то напрямок рівнодійної збігається з напрямком більшої сили, а для знаходження значення рівнодійної слід від значення більшої сили відняти значення меншої

4 З'ясуємо умову зрівноваження сил

Якщо з однаковою силою потягти нитки, прив'язані до візка з протилежних боків, рівнодійна двох сил дорівнюватиме нулю, тобто сили зрівноважать одна одну і причини для зміни швидкості руху тіла не буде.

Дві сили зрівноважать одна одну, якщо вони рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла.

Так, щоб автомобіль горизонтальним прямолінійним відрізком шосе рухався рівномірно (рис. 20.6, а), потрібно, щоб сила тяги його двигуна компенсувала силу опору рухові (сила опору рухові досить швидко зупинить автомобіль, якщо двигун буде вимкнено). Портфель перебуває у стані спокою в руці хлопця тому, що сила притягання Землі, яка діє на портфель, компенсується силою, яку прикладає до портфеля хлопець (рис. 20.6, б).



20.6. Якщо сили, які діють на тіло, рівні за значенням і протилежні за напрямком, то тіло рухається рівномірно прямолінійно (а) або перебуває в стані спокою (б)



Підбиваємо підсумки

Сила \vec{F} — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл). Сила є причиною зміни швидкості руху тіла.

Одиниця сили в СІ — ньютон (Н). 1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг протягом 1 с, змінює швидкість його руху на 1 м/с.

Сила — це векторна величина, тому, щоб схарактеризувати силу, необхідно вказати значення, напрямок і точку прикладання сили.

Якщо на тіло діють декілька сил, то їхню спільну дію завжди можна замінити дією однієї сили — рівнодійної.

Рівнодійною двох сил, що діють в одному напрямку, є сила, значення якої дорівнює сумі значень сил, а напрямок збігається з напрямком цих сил.

Рівнодійною двох сил, що діють у протилежних напрямках, є сила, значення якої дорівнює модулю різниці значень сил, а напрямок збігається з напрямком більшої сили.

Дві сили зрівноважують одна одну, якщо вони рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла.



Контрольні запитання

1. Які зміни можуть відбуватися з тілом унаслідок його взаємодії з іншими тілами?
2. Дайте визначення сили.
3. Якою є одиниця сили в СІ?
4. Чому сила характеризується не тільки значенням, але й напрямком?
5. Як позначають силу на рисунках?
6. Що таке рівнодійна сил, які діють на тіло?
7. Як знайти рівнодійну двох сил, які діють уздовж однієї прямої в одному напрямку? в протилежних напрямках?
8. За яких умов дві сили зрівноважують одна одну?



Вправа № 20

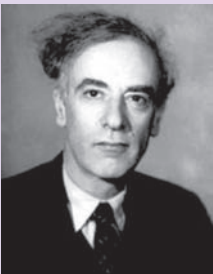
1. Фізики кажуть: «На тіло діє сила тяжіння» або «Руху автомобіля заважає сила опору повітря», хоча з погляду фізики точніше було б сказати: «На тіло діє Земля, її дія характеризується силою тяжіння» й «Руху автомобіля заважає повітря, дія якого характеризується силою опору повітря». Спробуйте навести аналогічні приклади.
2. Доберіть відповідний масштаб і накресліть у своєму зошиті сили, що дорівнюють 3,2 Н, 5,6 Н і 8 Н. Порівняйте своє креслення з кресленнями однокласників. Чому вони різняться?
3. Людина діє на підлогу із силою 800 Н. З якою силою людина діятиме на підлогу, якщо візьме в руки вантаж, який, у свою чергу, діє на людину із силою 200 Н? Відповідь поясніть за допомогою схематичного рисунка.
4. Канат, який тягнуть у протилежні боки дві людини, перебуває в стані спокою. Одна людина тягне канат із силою 300 Н. Чому дорівнює сила, з якою тягне канат друга людина? Зобразіть на схематичному рисунку сили, що діють на канат. Чому дорівнює рівнодійна цих сил?
5. Два хлопчики тягнуть санки, прикладаючи горизонтальні сили 50 і 70 Н, напрямлені вздовж однієї прямої. Яким може бути значення рівнодійної цих сил?
6. Чи може автомобіль рухатися дорогою, якщо рівнодійна всіх сил, прикладених до нього, напрямлена протилежно напрямку руху? Якщо так, наведіть приклад.
7. На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої. Дві з цих сил мають значення 30 і 50 Н. Яке значення може мати третя сила, якщо рівнодійна трьох сил дорівнює 100 Н? Скільки розв'язків має ця задача? Виконайте в зошиті відповідні схематичні рисунки.



Експериментальне завдання

Запропонуйте конструкцію пристрою для демонстрації додавання сил, що діють уздовж однієї прямої, та виготовте його.

Фізика і техніка в Україні



Один із видатних фізиків сучасності — **Лев Давидович Ландау** (1908–1968) — продемонстрував свої неабиякі здібності ще в середній школі. Після закінчення Ленінградського університету він стажувався в одного з творців квантової фізики Нільса Бора. Уже у 25 років Л. Д. Ландау очолив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту та кафедру теоретичної фізики Харківського університету.

Як і більшість видатних фізиків-теоретиків, Ландау вирізнявся надзвичайною широтою наукових інтересів. Ядерна фізика, фізика плазми, теорія надплинності рідкого гелію, теорія надпровідності — у всі ці розділи фізики Ландау зробив значний внесок. Саме за ідеєю та під керівництвом Л. Д. Ландау було здійснено розрахунки водневої бомби. А за роботи з фізики низьких температур Л. Д. Ландау отримав Нобелівську премію.

§ 21. ДЕФОРМАЦІЯ ТІЛА. ВИДИ ДЕФОРМАЦІЇ

Наталка Полтавка на початку відомого твору Івана Котляревського співає пісню: «Віють вітри, віють буйні, аж дерева гнуться...» У фізиці кажуть: дерева деформуються. Чим сильніше дме вітер, тим сильніше гнуться дерева. Коли вітер стихає, дерева набувають свого початкового положення — деформація зникає. Але якщо вітер надто сильний, то гілки дерев, а іноді навіть цілі дерева можуть зламатися.

Про те, що таке деформація, за яких умов вона виникає, які існують види деформації і коли тіла їх зазнають, ітиметься в цьому параграфі.



1 Спостерігаємо деформацію тіл і дізнаємося про причини її виникнення

Унаслідок дії сили тіло може й не змінити швидкості свого руху. Так, якщо стиснути м'ячик, то він залишиться в спокої, однак деякі його частини змістяться одні відносно інших. Тобто *внаслідок дії сили тіло може змінити свої розміри та форму*, у фізиці кажуть: *деформуватися*.

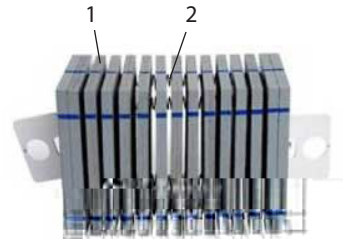


Рис. 21.1. Пристрій для демонстрації різних видів деформацій

Деформація — зміна форми та (або) розмірів тіла.

За тим, як частини тіла зміщуються одна відносно одної, розрізняють деформації *розтягнення, стиснення, вигину, кручення, зсуву*:

Види деформації				
розтягнення	стиснення	вигин	кручення	зсув
настроюємо гітару — розтягуємо струни	сідаємо в автомобіль — пружини ресори стискаються	стаємо на дошку — дошка вигинається	затягуємо шуруп — відбувається кручення викрутки	пересуваємо меблі — відбувається деформація зсуву

Для докладнішого вивчення різних видів деформацій скористаємося спеціальним пристроєм (рис. 21.1). На рисунку: 1 — паралельні пластини, які імітують шари молекул у тілі; 2 — пружини, що з'єднують пластини й імітують взаємодію між молекулами.

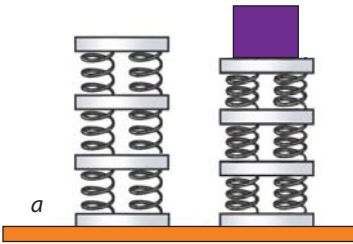


Рис. 21.2. Стовпи, колони, фундаменти будинків зазнають деформації стиснення

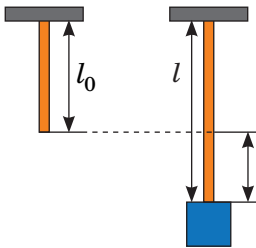


Рис. 21.3. Якщо до гумового шнура підвісити тягар, то його довжина збільшиться



Рис. 21.4. Демонстрація деформації вигину

2 Вивчаємо деформації стиснення та розтягнення

Поставимо пристрій для демонстрації деформацій на стіл і покладемо зверху тягар (рис. 21.2, *a*). Під дією тягара та власної ваги верхні пластини пристрою змістяться вниз, а нижні залишаться на місці, тому висота пристрою зменшиться.

Приблизно так само під час стискання тіла зміщуються в напрямку дії сили шари його молекул. У результаті розміри тіла зменшуються — тіло деформується. Таку деформацію називають **деформацією стиснення** — її зазнають стовпи, ніжки столів і стільців, фундаменти будинків тощо (рис. 21.2, *б*).

Якщо тіло розтягувати, то відстань між шарами молекул збільшується, відповідно збільшуються й розміри тіла (рис. 21.3). Таку деформацію називають **деформацією розтягнення** — її зазнають троси, канати, ланцюги в піднімальних пристроях, зчепи між вагонами тощо.

Фізична величина, яка характеризує деформації розтягнення та стиснення і дорівнює зміні довжини тіла в результаті деформації, називається **видовженням**.

Видовження позначають символом x (або Δl) і розраховують за формулою:

$$x = |l - l_0|,$$

де l — довжина деформованого тіла; l_0 — довжина недеформованого тіла (див. рис. 21.3).

3 Дізнаємося про деформацію вигину

Якщо ви станете на дошку, то під вашою дією середні частини дошки зсунуться вниз, а частини, розміщені на опорах, залишаться на місці. У результаті дошка вигнеться. У цьому випадку ми маємо справу з **деформацією вигину** (рис. 21.4).

Деформація вигину — це водночас деформація розтягнення та стиснення: на опуклому боці тіла відстань між шарами молекул збільшується, тобто ця частина тіла зазнає деформації розтягнення. На ввігнутому боці тіла відстань



Рис. 21.5. Рама велосипеда зроблена з тонких порожнистих металевих трубок, завдяки чому велосипед є досить легким, залишаючись при цьому міцним



Рис. 21.6. Природа наділила людину й тварин трубчастими кістками кінцівок, зробила трубчастими стеблини злаків, поєднуючи в такий спосіб економію «матеріалу» з міцністю «конструкцій»

між шарами молекул зменшується — ця частина тіла зазнає деформації стиснення.

Зверніть увагу! Середні шари не зазнають ані розтягнення, ані стиснення, а отже, не впливають на міцність конструкції. Саме тому зазвичай їх видаляють, замінюючи стрижні порожнистими трубами (рис. 21.5; рис. 21.6).

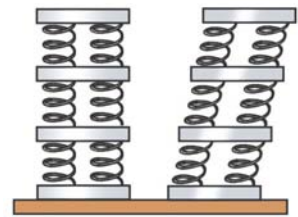
4 Знайомимося з деформаціями зсуву та кручення

Поставивши тверде тіло вертикально, його нижню частину зафіксуємо, а верхню спробуємо зрушити рукою, діючи в горизонтальному напрямку. Шари молекул зсунуться один відносно одного, а само тіло змінить свою форму — відбудеться **деформація зсуву** (рис. 21.7, *а*). Деформації зсуву зазнають, наприклад, цвяхи та болти, які скріплюють частини різних конструкцій; тканина, яку розрізають ножицями.

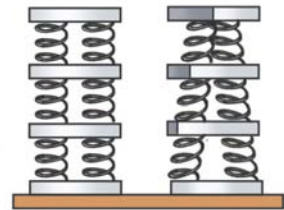
Якщо повернути верхню частину тіла, залишаючи нижню нерухомою, то зсув шарів молекул відбудеться неоднаково — кожний шар повернеться на певний кут відносно наступного шару. Таку деформацію називають **деформацією кручення** (рис. 21.7, *б*) — її зазнають вали всіх машин, гвинти, ключі, викрутки тощо.

5 Розрізняємо пружні і пластичні деформації

Візьміть еспандер (або ластик) і стисніть його — еспандер зігнеться. Однак якщо перестати стискати еспандер, він повністю відновить свою форму — **деформація зникне** (рис. 21.8).



а



б

Рис. 21.7. Демонстрація деформації зсуву (*а*) і кручення (*б*)



Рис. 21.8. Після припинення дії руки форма еспандера відновлюється



Рис. 21.9. Ліплення з глини базується на пластичній деформації

Деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають **пружними**.

Працюючи над скульптурою, майстер мне руками грудку глини — глина збереже форму, надану їй майстром (рис. 21.9). Важкий прес на монетному дворі з металевих заготовок карбує монети, — після припинення дії преса монета не відновить своєї колишньої форми шматка металу. І глина, і метал «не пам'ятають» своєї форми до деформації й не відновлюють її.

Деформації, які зберігаються після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають **пластичними**.

6 Знайомимося з механічними властивостями твердих тіл

Щоб споруджувати будинки, створювати надійні машини та механізми, виготовляти безпечні побутові прилади тощо, потрібно знати механічні властивості різноманітних матеріалів: бетону, металів, деревини, пластиків, скла...

Конструктори повинні враховувати властивості тих чи інших матеріалів у разі дії високих або низьких температур, ударних чи статичних навантажень тощо. Дані про ці властивості отримують головним чином експериментально. Зразки матеріалів піддають нагріванню, охолодженню, навантаженням і досліджують зміни, що з ними відбуваються. Таким чином, наприклад, з'ясовують, за яких навантажень спостерігаються пружні деформації, за яких починаються пластичні, а за яких навантажень зразки руйнуються.

Серед механічних властивостей твердих тіл найчастіше розглядають **пружність, пластичність, крихкість**.

Пружними матеріалами називають такі, у яких пружні деформації можуть бути досить великими: наприклад, це сталь і гума. Якщо подовжити сталевий стрижень на 1 % від початкової довжини, то він повернеться до первісного стану. Для гуми таке подовження може становити кількадесят відсотків.

Пластилін, мокра глина, свинець, мідь практично не виявляють пружних властивостей. Під дією навіть малих навантажень вони зазнають пластичних деформацій. Такі матеріали називають *пластичними*.

Крихкими називають матеріали, тіла з яких руйнуються навіть у разі малих деформацій. Такими матеріалами є, наприклад, скло, фарфор, чавун, мармур.

Слід зазначити, що ті самі матеріали в різних умовах можуть виявляти різні механічні властивості. Так, за великих навантажень пружна сталь робиться пластичною і зі сталевих листів можна штампувати посуд або деталі автомобілів. Пластичний свинець у разі охолодження стає пружним, а скло за температур від 500 до 700 °С стає еластичнішим, ніж пластилін за кімнатної температури.



Підбиваємо підсумки

Деформацією називають зміну форми і (або) розмірів тіла. Тіла деформуються тому, що під дією сил різні частини тіла рухаються по-різному й у результаті зміщуються одна відносно одної. За характером зміщень розрізняють деформації розтягнення, стиснення, зсуву, вигину, кручення.

Деформації розтягнення та стиснення характеризуються фізичною величиною — видовженням: $\Delta l = l - l_0$.

Якщо після припинення дії на тіло зовнішніх сил деформації повністю зникають, — це пружні деформації; якщо деформації зберігаються, — це пластичні деформації.

Серед механічних властивостей твердих тіл найчастіше розглядають пружність, пластичність, крихкість.



Контрольні запитання

1. Що таке деформація? У чому причина її виникнення? **2.** Які види деформацій ви знаєте? Наведіть приклади. **3.** Яка фізична величина характеризує деформації розтягнення та стиснення? Дайте їй визначення. **4.** Які деформації називають пружними? пластичними? Наведіть приклади. **5.** Як досліджують механічні властивості твердих тіл? **6.** Наведіть ознаки пружних, пластичних, крихких матеріалів.



Вправа № 21

- Яких деформацій зазнають: а) опори мостів, колони будинків; б) підвіси люстр, ланцюги гойдалок; в) дошки підлог, прогони мостів; г) проводи ліній електропередач?
- Наведіть приклади пружних і пластичних деформацій, з якими ви зустрічаєтесь у житті.
- Пружина в розтягнутому стані має довжину 12 см. Якою є довжина недеформованої пружини, якщо видовження дорівнює 20 мм?
- Яких деформацій зазнає педаль велосипеда під час їзди? Яких деформацій під час їзди зазнає хребет людини?
- Довжина розтягнутого гумового джгута 15 см. Коли його розтягли ще на 3 см, видовження джгута збільшилось у 3 рази. Якою була довжина недеформованого джгута?
- Розв'яжіть рівняння — знайдіть невідому величину.



$$15 \text{ см} = 2 \text{ дм} - x; \quad 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{12 \text{ м}}{t}; \quad 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = \frac{1,2 \text{ Н}}{x}; \quad 2 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = \frac{F}{0,5 \text{ м}}.$$

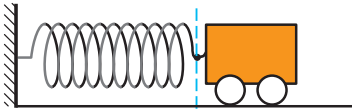


Експериментальне завдання

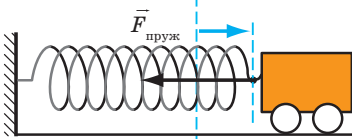
«Механічні властивості». Візьміть декілька тіл, виготовлених із різних матеріалів, наприклад листик, брусок пластиліну, металеву пластинку, поролонову губку. Проведіть досліди й дізнайтеся, якими є ці матеріали: пружними, пластичними чи крихкими. Чи зміняться властивості цих матеріалів, якщо тіла на декілька годин покласти в морозильну камеру, а потім відразу провести досліди?

§ 22. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА

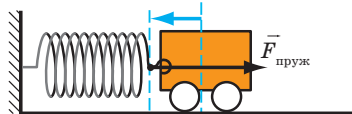
Якщо ви стискаєте еспандер, натягуєте тятиву лука, натискаєте на м'яч або згинаєте гілку дерева, тобто деформуєте тіла, ви відчуваєте їхній опір: з боку цих тіл на руку починає діяти сила, яка чинить опір дії вашої руки. З цього параграфу ви дізнаєтесь, що це за сила, яку природу вона має і як її можна обчислити.



Пружина недеформована —
сила пружності відсутня



Пружина розтягнута —
сила пружності намагається
стиснути пружину



Пружина стиснута —
сила пружності намагається
розтягти пружину

Рис. 22.1. Напрямок сили пружності під час деформації розтягнення та стиснення

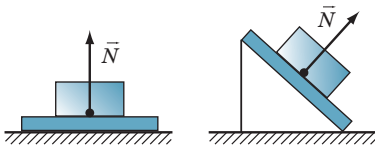


Рис. 22.2. Сила нормальної реакції опори \vec{N} завжди напрямлена перпендикулярно до поверхні опори

1 Даємо визначення сили пружності

Під час деформації завжди виникає сила, що прагне відновити той стан тіла, у якому тіло перебувало до деформації. Цю силу називають *силою пружності* (рис. 22.1).

Сила пружності — це сила, яка виникає під час деформації тіла і напрямлена протилежно напрямку зміщення частин цього тіла в ході деформації.

Зазвичай силу пружності позначають символом $\vec{F}_{\text{пруж}}$. Однак є деякі сили пружності, що мають власні символи.

Якщо тіло тисне на опору, то опора деформується (вигинається). Деформація опори викликає появу сили пружності, яка діє на тіло *перпендикулярно до поверхні опори*. Цю силу називають *силою нормальної реакції опори* і позначають символом \vec{N} (рис. 22.2).

Якщо тіло розтягує підвіс (нитки, джгути, шнури), то виникає сила пружності, напрямлена *вздовж підвісу*. Цю силу називають *силою натягу підвісу* і позначають символом \vec{T} (рис. 22.3).

2 Відкриваємо закон Гука

Наукове дослідження процесів розтягання та стискання тіл розпочав у XVII ст.

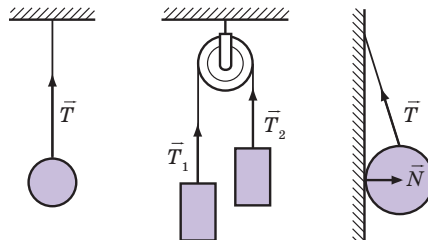


Рис. 22.3. Сила натягу підвісу \vec{T} завжди напрямлена вздовж підвісу

Роберт Гук (рис. 22.4). Проводячи досліди з різними тілами, Гук виявив закон, який згодом отримав назву **закон Гука**:

У разі малих пружних деформацій сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла і завжди намагається повернути тіло в недеформований стан:

$$F_{\text{пруж}} = kx,$$

де $F_{\text{пруж}}$ — сила пружності; x — видовження тіла; k — коефіцієнт пропорційності, який називають **жорсткістю тіла**.

Жорсткість тіла можна визначити, скориставшись законом Гука:

$$F_{\text{пруж}} = kx \Rightarrow k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x}.$$

Одиницею жорсткості в СІ є **ньютон на метр**:

$$[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Жорсткість — це характеристика тіла, тому вона не залежить ані від сили пружності, ані від видовження тіла. Жорсткість залежить від форми та розмірів тіла, а також від матеріалу, з якого тіло виготовлене.

Оскільки сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла, то графіком залежності є пряма (рис. 22.5). Чим більшою є жорсткість тіла, тим вище розташований графік.



Рис. 22.4. Роберт Гук (1635–1703), видатний англійський природознавець, один із засновників експериментальної фізики

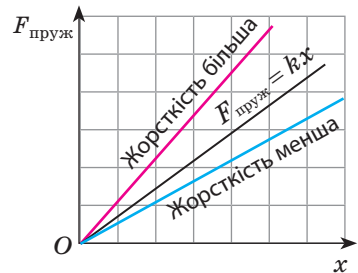


Рис. 22.5. Графік залежності сили пружності від видовження $F_{\text{пруж}}(x)$ — пряма лінія

3 З'ясуємо, якою є природа сили пружності

Ви добре знаєте, що всі тіла складаються з частинок (атомів, молекул, йонів). У твердих тілах частинки коливаються біля положень рівноваги і взаємодіють міжмолекулярними силами притягання та відштовхування. У положеннях рівноваги ці сили зрівноважені.

У разі деформації тіла у взаємному розташуванні його частинок виникають певні зміни. Якщо відстань між частинками зростає, то міжмолекулярні сили притягання стають сильнішими за сили відштовхування. Якщо ж частинки зближуються, то сильнішими стають міжмолекулярні сили відштовхування. Іншими словами: у разі деформації частинки «прагнуть» відновити положення рівноваги.

Сили, що виникають у разі зміни положення однієї частинки, дуже малі. Однак коли ми деформуємо тіло, то змінюється взаємне розташування

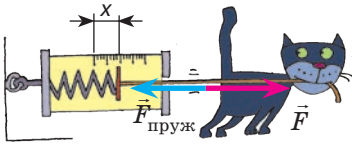


Рис. 22.6. Силу, з якою кіт тягне кільце, можна виміряти за допомогою пружини

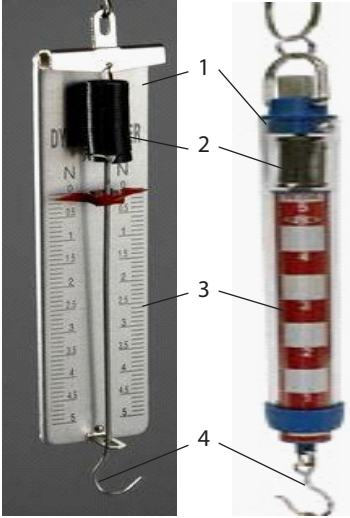


Рис. 22.7. Шкільні пружинні лабораторні динамометри: 1 — пластиковий корпус (панель), 2 — пружина, 3 — шкала, 4 — повідець із гачком



Рис. 22.8. Пружинні динамометри: а — тяговий динамометр, призначений для вимірювання великих сил, наприклад сили тяги трактора; б — динамометр, призначений для вимірювання м'язових зусиль кисті людини

величезної кількості частинок. У результаті додавання сил дає помітну рівнодійну, яка протидіє деформації тіла. Це і є сила пружності. Отже, *сила пружності* — вияв дії міжмолекулярних сил.

4 Знайомимося з приладами для вимірювання сили

Сила — це фізична величина, тому її можна вимірювати. Виміряти силу означає зрівножити її відомою силою.

Прилади для вимірювання сили називають **динамометрами** (у перекладі з грецької — «сила» і «вимірюю»).

Дія найпростіших динамометрів — пружинних — базується на законі Гука. Наприклад, для того щоб за допомогою пружини, жорсткість k якої відома, виміряти силу F , з якою кіт тягне кільце (рис. 22.6), достатньо:

- 1) виміряти видовження x пружини;
- 2) скориставшись законом Гука, визначити силу пружності: $F_{\text{пруж}} = kx$, яка діє на kota з боку пружини.

Якщо кіт нерухомий або рухається з незмінною швидкістю, то сила тяги F дорівнює силі пружності $F_{\text{пруж}}$, тобто $F = F_{\text{пруж}}$.

Зрозуміло, що кожного разу вимірювати видовження і розраховувати силу незручно. Тому для вимірювання сил пружину закріплюють на панелі, на яку наносять шкалу, градууючи її відразу в одиницях сили. Саме таку будову мають найпростіші шкільні лабораторні динамометри (рис. 22.7). Існують й інші види пружинних динамометрів (рис. 22.8).

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. Діючи на пружину силою 40 Н, учень розтягнув її на 8 см. Визначте жорсткість пружини. Яку силу треба прикласти учневі, щоб розтягти ту саму пружину ще на 6 см? Деформацію пружини вважайте пружною.

Дано:

$$F_1 = 40 \text{ Н}$$

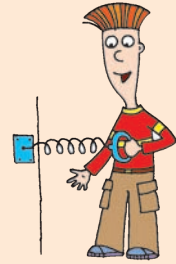
$$x_1 = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$$

$$x_2 - x_1 = 6 \text{ см} =$$

$$= 0,06 \text{ м}$$

 $k - ?$ $F_2 - ?$ *Аналіз фізичної проблеми.*

Сила, яку прикладає хлопчик, за значенням дорівнює силі пружності, що виникає в пружині під час її розтягання: $F = F_{\text{пруж}}$. За умовою задачі деформація є пружною, тому для визначення сили пружності скористуємося законом Гука. Жорсткість пружини залишається незмінною. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

*Пошук математичної моделі, розв'язання.*

1. Визначимо жорсткість пружини:

$$F_{\text{пруж}} = kx, \text{ тому } k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x} = \frac{F_1}{x_1} = \frac{40 \text{ Н}}{0,08 \text{ м}} = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

2. Знайдемо силу, яку треба прикласти учневі:

$$F_2 = F_{\text{пруж}2} = kx_2;$$

за умовою задачі $x_2 - x_1 = 0,06 \text{ м}$,тому $x_2 = x_1 + 0,06 \text{ м} = 0,08 \text{ м} + 0,06 \text{ м} = 0,14 \text{ м}$;отже, $F_2 = kx_2 = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,14 \text{ м} = 70 \text{ Н}$.

Аналіз результатів. Для видовження пружини на 8 см учневі треба прикласти силу 40 Н; для видовження пружини ще на 6 см учневі треба збільшити силу на 30 Н — це правдоподібний результат.

Відповідь: жорсткість пружини становить $500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; учневі треба прикласти силу 70 Н.

Задача 2. Виконуючи лабораторну роботу, дівчинка збільшувала навантаження гумового шнура, щоразу вимірюючи силу, яка діє на шнур, і відповідне видовження шнура. Скориставшись таблицею, яку отримала дівчинка, побудуйте графік залежності сили пружності від видовження шнура — $F_{\text{пруж}}(x)$. За допомогою графіка визначте:

а) жорсткість шнура;

б) видовження шнура, коли до нього прикладено силу 5 Н;

в) силу, яку треба прикласти до шнура, щоб видовження становило 60 см.

Сила F , Н	2	4	6	8
Видовження x , м	0,1	0,2	0,3	0,4

Аналіз фізичної проблеми. Під час розтягнення шнура виникає сила пружності, яка за значенням дорівнює силі, що діє на шнур:

$$F_{\text{пруж}} = F.$$

Для побудови графіка залежності $F_{\text{пруж}}(x)$ накреслимо дві взаємно перпендикулярні осі, на яких задамо одиничні відрізки. На горизонтальній

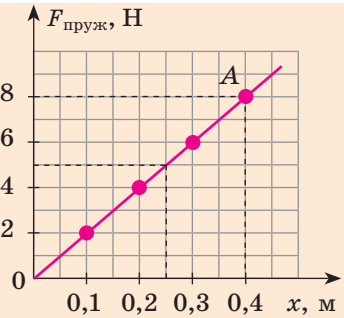
осі будемо відкладати видовження x шнура, а по вертикальній — відповідне значення сили пружності $F_{\text{пруж}}$. Нехай видовженню шнура на 0,1 м відповідають 2 клітинки, а силі 1 Н — 1 клітинка.

Розв'язання. Побудувавши зазначені точки (див. рисунок), побачимо, що всі вони належать одній прямій, отже, для будь-якої точки графіка маємо: $F_{\text{пруж}} = kx$.

а) Обравши точку A графіка, знайдемо жорсткість шнура: $k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x} = \frac{8 \text{ Н}}{0,4 \text{ м}} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

б) Видовження шнура, яке відповідає силі 5 Н, знайдемо за графіком: якщо $F_{\text{пруж}} = 5 \text{ Н}$, то $x = 0,25 \text{ м}$.

в) Силу, яку треба прикласти до шнура, щоб видовження дорівнювало 60 см = 0,6 м, знайдемо за законом Гука: $F_{\text{пруж}} = kx = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,6 \text{ м} = 12 \text{ Н}$.



Підбиваємо підсумки

Сила пружності $\vec{F}_{\text{пруж}}$ — це сила, яка виникає під час деформації тіла і напрямлена протилежно напрямку зміщення частин цього тіла в процесі деформації. Сила пружності є виявом дії міжмолекулярних сил.

У разі малих пружних деформацій розтягнення та стиснення виконується закон Гука: сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла і завжди намагається повернути тіло в недеформований стан: $F_{\text{пруж}} = kx$.

Прилади для вимірювання сили називаються динамометрами. Принцип дії найпростіших з них — пружинних динамометрів — базується на законі Гука.



Контрольні запитання

1. Дайте означення сили пружності.
2. Чому виникає сила пружності?
3. Якою є природа сили пружності?
4. Для яких деформацій виконується закон Гука?
5. Сформулюйте закон Гука.
6. Що означає виміряти силу?
7. Який прилад слугує для вимірювання сил?
8. Опишіть будову найпростішого лабораторного динамометра.



Вправа № 22

1. На стіл поставили важкий брусок. Що відбуватиметься зі стільницею? Куди буде напрямлена сила пружності стільниці? Виконайте рисунок, зазначте силу пружності, що діє на брусок.
2. Жорсткість пружини становить 20 Н/м. Яку силу потрібно прикласти до пружини, щоб розтягти її на 0,1 м?
3. За даними щодо сили пружності та видовження пружини визначте жорсткості пружини:
 - а) $F = 10 \text{ Н}$, $x = 0,2 \text{ м}$; б) $F = 3 \text{ кН}$, $x = 0,15 \text{ м}$; в) $F = 2,1 \text{ Н}$, $x = 3,5 \text{ мм}$.
4. Зважаючи на закон Гука, знайдіть значення фізичних величин, яких бракує.
 - а) $x = 2 \text{ см}$, $F = 13 \text{ Н}$; б) $k = 2 \text{ Н/см}$, $x = 4 \text{ мм}$; в) $F = 1,8 \text{ кН}$, $k = 600 \text{ Н/м}$.

5. У разі стиснення пружини на 7 см виникає сила пружності 2,8 кН. Яка сила виникне в разі стиснення цієї пружини на 4,2 мм?
6. Багато виробників зазначають характеристики своїх пружин за допомогою графіків. Визначте жорсткість пружин, графіки залежності сили пружності $F_{\text{пруж}}$ від видовження x для яких подано на рис. 1. Якими будуть видовження цих пружин, якщо до них прикласти силу 50 Н?

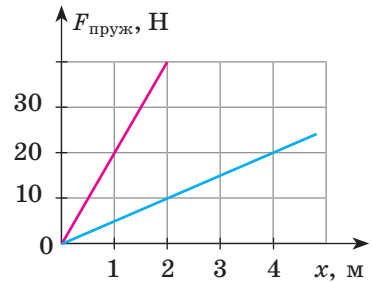


Рис. 1

7. Дві пружини, жорсткість яких 40 Н/м і 50 Н/м, з'єднані послідовно (рис. 2). Яким буде видовження цієї системи пружин, якщо до неї прикласти силу $F = 10$ Н?

Зверніть увагу: у разі послідовного з'єднання пружин сила пружності буде однаковою в будь-якій точці системи: $F_{\text{пруж}} = F_{\text{пруж 1}} = F_{\text{пруж 2}}$.

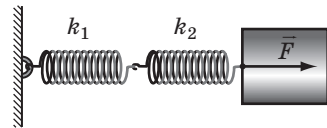


Рис. 2

8. Дві пружини, жорсткість яких 40 Н/м і 50 Н/м, з'єднані паралельно (рис. 3). Яким буде видовження цієї системи пружин, якщо до неї прикласти силу 10 Н?

Зверніть увагу: у разі паралельного з'єднання пружин сумарна сила пружності дорівнює сумі сил пружності, що виникають у кожній з пружин окремо: $F_{\text{пруж}} = F_{\text{пруж 1}} + F_{\text{пруж 2}}$; загальне видовження пружин дорівнює видовженню кожної пружини.

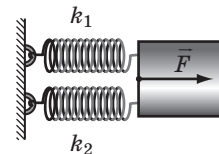


Рис. 3

9. Спираючись на власний життєвий досвід або інформацію, знайдену в Інтернеті, складіть задачу за темою цього параграфу. Розв'яжіть цю задачу, виконайте пояснювальний рисунок. Оформте свою роботу на окремому аркуші.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема. Дослідження пружних властивостей тіл.

Мета: дослідити пружні властивості гумових шнурів під час деформації розтягнення.

Обладнання: штатив із муфтою та лапкою; два гумові шнури однакового діаметра (1–2 мм) завдовжки близько 13 см і 20 см; набір тягарців масою 100 г кожен; учнівська лінійка; картонна смужка розмірами 8 x 29 см; олівець.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
 - Що таке деформація? Які існують види деформації?
 - Які деформації називають пружними? пластичними?

- 3) За якою формулою розраховують силу пружності?
 4) Як визначити жорсткість пружини? Якою є одиниця жорсткості в СІ?
2. Визначте ціну поділки шкали лінійки.
3. З кожного кінця гумового шнура завдовжки 13 см (шнур А) зав'яжіть петлю так, щоб відстань між вузликами становила близько 8 см. Складіть гумовий шнур завдовжки 20 см (шнур В) удвоє, зав'яжіть кінці, а в місці складення зробіть петлю так, щоб відстань між вузликами знов-таки становила приблизно 8 см. Підвісьте обидва шнури з одного боку лапки штатива, як показано на рис. 1. Закріпіть у лапці смужку картону.

▶ Експеримент

Позначте на смужці картону положення вузликів, які розташовані на гумових шнурах, горизонтальними рисками. Біля верхніх вузликів напишіть А і В, а біля нижніх — A_0 і B_0 відповідно.

1. Підвісьте до шнура А тягарець масою 100 г. Нове положення нижнього вузлика позначте на смужці картону горизонтальною рисою, біля риси напишіть A_1 .

Примітка. На тягарець масою 100 г діє сила тяжіння, яка становить приблизно 1 Н. Якщо тягарець перебуває в спокої, сила тяжіння зрівноважується силою пружності, тому сила пружності також приблизно дорівнює 1 Н.

2. Зніміть тягарець. З'ясуйте, чи повернувся нижній вузлик у вихідне положення, тобто чи була деформація шнура пружною.
3. Послідовно підвішуйте до шнура А 2, 3 і 4 тягарці. У кожному випадку положення нижнього вузлика позначайте рисою, а біля риси записуйте A_2 , A_3 , A_4 відповідно (рис. 2).

Не забувайте після кожного дослідів знімати тягарці й з'ясовувати, чи повернувся після припинення дії сили нижній вузлик у положення, позначене A_0 . Як тільки деформація шнура перестане бути пружною, тобто коли після зняття тягарців шнур залишиться деформованим, досліди припиніть.

4. Повторіть дії, описані в пп. 2–4, зі шнуром В.
5. Зніміть смужку картону.

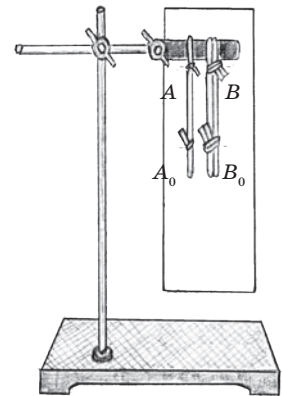


Рис. 1

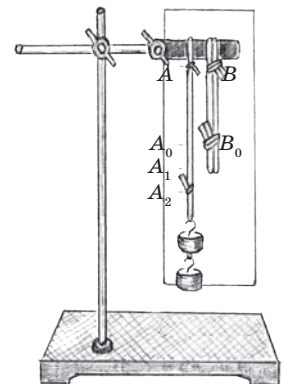


Рис. 2



Опрацювання результатів експерименту

Результати вимірювань і обчислень одразу заносьте до таблиці.

1. Виміряйте довжини недеформованих шнура А і шнура В (відстані l_{0A} і l_{0B} між рисками, які позначені А і A_0 , В і B_0 відповідно).

2. Для кожного досліджу:

1) виміряйте довжини деформованих шнурів (відстані l_A і l_B між рисками, які позначені відповідно А і A_1 , В і B_1 ; А і A_2 , В і B_2 і т. д.);

2) визначте видовження шнурів: $x_A = l_A - l_{0A}$ і $x_B = l_B - l_{0B}$;

3) знайдіть відношення: $k_A = \frac{F_{\text{пруж}}}{x_A}$; $k_B = \frac{F_{\text{пруж}}}{x_B}$.

Номер досліджу	Маса тягарця, m , г	Сила пружності $F_{\text{пруж}}$, Н	Шнур А			Шнура В		
			Довжина		Відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, Н/см	Довжина		Відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, Н/см
			$l_{0A'}$, см	$l_{A'}$, см		$l_{0B'}$, см	$l_{B'}$, см	
1	100	1						
2	200	2						
3	300	3						
4	400	4						



Аналіз експерименту та його результатів

Порівняйте відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$ для кожного досліджу. Зробіть висновок,

у якому зазначте: до яких матеріалів можна віднести гуму, з якої виготовлені шнури (до пружних чи пластичних); чи впливає навантаження на те, якою буде деформація (пружною чи пластичною); чи залежить у разі пружної деформації жорсткість шнура від його видовження; чи залежить

відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$ від товщини шнура.



Творче завдання

Чи зміниться відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, отримане в роботі, якщо шнур замінити на вдвічі довший? Перевірте результати своїх міркувань експериментально.

§ 23. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

Візьміть у руки, а потім відпустіть, наприклад, рюкзак — він обов'язково впаде. Поставте рюкзак на лаву — лаву (хоч і непомітно для ока) прогнеться. Підвісьте рюкзак до гумового шнура — шнур розтягнеться. Усе це — наслідки гравітаційного притягання Землі. Однак репортажі з космічних станцій демонструють нам нібито «зникнення» земного тяжіння — космонавти і всі речі на борту станцій перебувають у стані невагомості. У цьому параграфі ви детальніше познайомитесь із земним тяжінням і дізнаєтесь, чи можна відтворити невагомість удома.



Рис. 23.1. Земля притягує до себе всі тіла

1 Згадуємо про гравітаційну взаємодію

Чому будь-який випущений із руки предмет: олівець, рюкзак, м'яч тощо — прямує до низу? Чому стріла, пущена з лука, не летить увесь час прямо, а врешті падає на землю? Чому Місяць рухається навколо Землі? Причина всіх цих явищ полягає в тому, що *Земля притягує до себе всі тіла* (рис. 23.1).

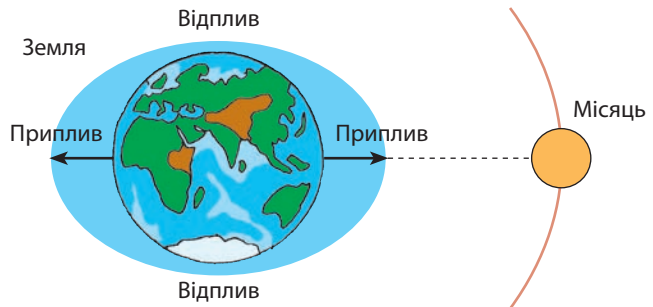
Усі тіла також притягують до себе Землю. Наприклад, притягання Місяця спричиняє на Землі припливи (рис. 23.2), а завдяки притягання Сонця наша планета й усі інші планети Сонячної системи рухаються навколо Сонця по певних орбітах.

У 1687 р. видатний англійський фізик І. Ньютон сформулював закон, згідно з яким між усіма тілами Всесвіту існує взаємне притягання. Таке взаємне притягання матеріальних об'єктів називають *гравітаційною взаємодією*, або *всесвітнім тяжінням*.

Спираючись на досліди та математичні розрахунки, Ньютон виявив, що *інтенсивність гравітаційної взаємодії збільшується зі збільшенням мас тіл, які взаємодіють*. Саме тому легко переконатися, що нас із вами притягує Земля, але ми зовсім не відчуваємо притягання нашого сусіда по парті.



Рис. 23.2. Припливи та відпливи є наслідками притягання Землі до Місяця



2 Знайомимось із силою тяжіння

У фізиці силу гравітаційного притягання Землі, що діє на тіла поблизу неї, називають *силою тяжіння*.

Сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, що перебувають на її поверхні або поблизу неї.

Сила тяжіння прикладена до центра тіла, яке притягується Землею, і напрямлена вертикально вниз (рис. 23.3).

Численними дослідженнями доведено, що сила тяжіння, яка діє на тіло, прямо пропорційна масі цього тіла. Цю залежність подають у вигляді формули:

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

де m — маса тіла; g — коефіцієнт пропорційності, який називають *прискоренням вільного падіння*.

Поблизу поверхні Землі прискорення вільного падіння становить 9,8 ньютон на кілограм:

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

Якщо не потрібна велика точність, то можна вважати, що $g \approx 10$ Н/кг.

Значення прискорення вільного падіння незначно різняться на екваторі і полюсах Землі (рис. 23.4), над океанами і покладами корисних копалин, змінюються в разі підняття вгору і спуску в шахту. Детальніше з цим ви познайомитесь у 10-му класі.

3 Дізнаємося, що фізики називають вагою тіла

Усі тіла через притягання до Землі стискають чи прогинають опору або розтягують підвіс. Сила, яка характеризує таку дію тіл, називається *вагою тіла* (рис. 23.5).

Вага тіла \vec{P} — це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло тисне на опору або розтягує підвіс.

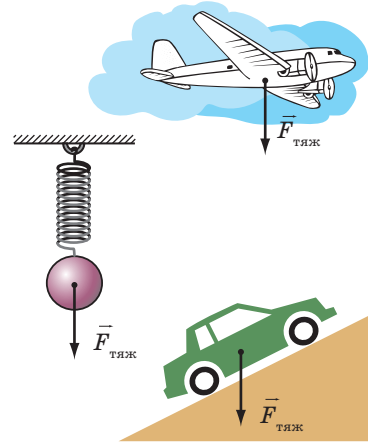


Рис. 23.3. Сила тяжіння завжди напрямлена вертикально вниз і прикладена до центра тіла

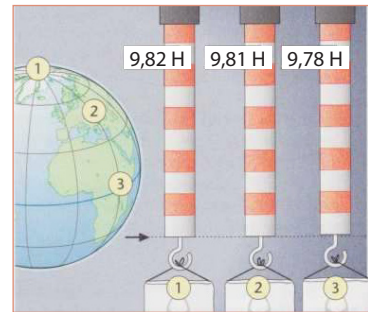


Рис. 23.4. Сила тяжіння, яка діє на тіло масою 1 кг на екваторі, ледь менша за силу тяжіння, що діє на це тіло на полюсі

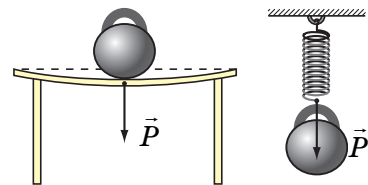


Рис. 23.5. Тіла, розміщені на опорі або підвісі, діють на них із силою, яку називають вагою тіла. Вага прикладена до опорі або підвісу

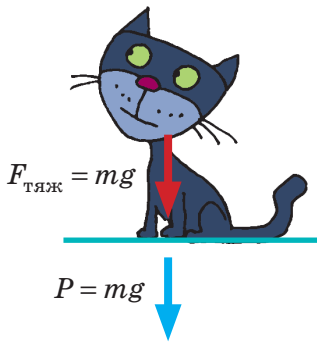


Рис. 23.6. Сила тяжіння діє на тіло, вага тіла діє на опору

Одиниця ваги у СІ, як і будь-якої іншої сили,— ньютон (1 Н).

Якщо тіло перебуває в стані спокою або прямолінійного рівномірного руху, то його вага збігається за напрямком із силою тяжіння і дорівнює їй за значенням:

$$P = mg.$$

На відміну від сили тяжіння, яка прикладена до тіла, вага прикладена до опори або підвісу (рис. 23.6).

4 Спробуємо створити стан невагомості

Усім є звичним термін «невагомість», проте його значення багато хто розуміє неправильно. Так, дехто вважає, що невагомість — це стан, який спостерігається лише в космосі, де немає повітря, або там, де відсутня гравітація.

Але це не так! Відсутність повітря сама по собі не спричиняє невагомості, а від гравітації взагалі не сховаєшся — у Всесвіті немає жодного куточка, де б не діяли сили всесвітнього тяжіння*. Насправді *невагомість* — це відсутність ваги. Приберіть у тіла опору або підвіс — і воно опиниться в стані невагомості.

Невагомість — це такий стан тіла, за якого тіло не діє на опору чи підвіс.

Тіло поблизу поверхні Землі перебуває в стані невагомості, якщо воно рухається під дією лише сили тяжіння.

На короткий час невагомість легко створити вдома, на вулиці, у класі тощо. Підкиньте якесь тіло. Якщо опір повітря є нехтовно малим, то під час падіння тіло перебуватиме в стані невагомості. У невагомості опиняєтесь і ви, коли, наприклад, стрибаєте з дерева або підстрибуєте під час гри в баскетбол.

Постійно в стані невагомості перебувають космічні орбітальні станції і все, що в них є (рис. 23.7). Це пов'язане з тим, що космічні кораблі постійно «падають» на Землю через її притягання.

У нетренованої людини тривале перебування у стані невагомості, як правило, супроводжується нудотою, порушенням роботи м'язів, вестибулярного апарату**, нервовими розладами (рис. 23.8).



Підбиваємо підсумки

У Всесвіті всі тіла притягуються одне до одного. Таке взаємне притягання матеріальних об'єктів називають гравітаційною взаємодією.

* Як показують астрономічні дослідження, густина матерії в нашому Всесвіті досить мала (2–3 атоми Гідрогену на 1 м^3), тому в середньому у Всесвіті дуже мала гравітація. Але вона є! Цю гравітацію називають *мікрогравітацією*.

** *Вестибулярний апарат* — орган чуття в людей та хребетних тварин, що сприймає зміни положення голови й тіла в просторі, а також напрямку руху. Цей орган відповідає, наприклад, за здатність людини навіть у темряві розрізняти, де верх, а де низ.



Рис. 23.7. Космічні орбітальні станції рухаються по орбіті навколо Землі під дією тільки сили тяжіння, тому вони перебувають у стані невагомості



Рис. 23.8. Щоб тривалий час працювати на орбіті в стані невагомості, космонавти проходять спеціальну підготовку

Сила тяжіння — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, розташовані на її поверхні або поблизу неї. Сила тяжіння обчислюється за формулою $F_{\text{тяж}} = mg$ і напрямлена вертикально вниз, до центра Землі.

Вага тіла \vec{P} — це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло діє на опору або підвіс. Треба розрізнити силу тяжіння і вагу тіла: сила тяжіння прикладена до самого тіла, а вага — до його опору або підвісу; вага тіла дорівнює за значенням силі тяжіння ($P = mg$) тільки в стані спокою або рівномірного прямолінійного руху тіла.

Коли тіло рухається під дією лише гравітаційних сил, то воно перебуває в стані невагомості (його вага дорівнює нулю).



Контрольні запитання

1. Чи діє на вас сила притягання до Місяця?
2. Чи притягує Землю автомобіль, який стоїть на автостоянці?
3. Чи діє на космічну станцію, що перебуває на орбіті, сила тяжіння?
4. Хто відкрив закон, згідно з яким між усіма тілами Всесвіту існує взаємне притягання?
5. Що називають силою тяжіння і як її обчислити?
6. До чого прикладена і куди напрямлена сила тяжіння?
7. Що таке вага тіла? Порівняйте її із силою тяжіння.
8. Що таке невагомість?
9. За яких умов тіло перебуватиме в невагомості?

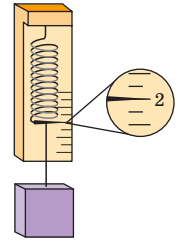


Вправа № 23

1. Книжка лежить на столі. На яке тіло діє вага книжки? На яке тіло діє сила тяжіння?
2. Визначте силу тяжіння, яка діє на тіло масою 600 г.
3. Якою є маса тіла, якщо його вага дорівнює 600 Н?
4. Яке з тіл перебуває в невагомості: а) комаха, що літає кімнатою; б) порошок, який падає в повітрі; в) аквалангіст, який пірнає під шаром води; г) невеликий астероїд, що пролітає повз Землю?
5. Визначте масу тягарця, що висить на пружині жорсткістю 200 Н/м, якщо видовження пружини дорівнює 0,5 см.



6. Складіть задачу, обернену до задачі 5 цієї вправи, та розв'яжіть її.
7. У відро масою 1,5 кг налили 5,5 л води. Яку силу треба прикласти, щоб утримувати відро в руках? Зробіть пояснювальний рисунок, зазначивши сили, що діють на відро.
8. Знайдіть густину речовини, з якої виготовлений кубик, і жорсткість пружини динамометра (див. рисунок). Ребро кубика дорівнює 4 см.



- i** 9. Як відомо, сила тяжіння на поверхні планет Сонячної системи відрізняється від сили тяжіння на поверхні Землі. Skorиставшись Інтернетом або додатковою літературою, визначте силу тяжіння, яка діяла би на вас особисто в разі космічної подорожі на ці планети (або супутники). Поміркуйте, до яких наслідків це могло би призвести.



10. Визначте абсолютну та відносну похибки вимірювання ваги кубика (див. рисунок).



Експериментальне завдання

Визначте жорсткість пружини вашої авторучки. Для подовження пружини візьміть тіло відомої маси, наприклад монету в 50 копійок (її маса дорівнює 4,2 г). Напишіть інструкцію з проведення цього експериментального завдання.

Фізика і техніка в Україні



Юрій Васильович Кондратюк (*Олександр Гнатович Шаргей*) (1897–1941) — один із піонерів ракетної техніки. Майбутній науковець зацікавився космічними польотами ще гімназистом. Він навчався в полтавській гімназії, згодом — на механічному відділенні Петроградського політехнічного інституту.

У книжці «Тим, хто читатиме, щоб будувати» (1919) Ю. Кондратюк навів схему чотириступеневої ракети на киснево-водневому паливі, дав опис камери згоряння двигуна, а в книжці «Завоювання міжпланетних просторів» (1929) запропонував здійснювати польоти на Місяць у три етапи, використовуючи для живлення систем космічного корабля сонячну енергію (!).

Американський астронавт *Ніл Армстронг*, який першим ступив на поверхню Місяця, спеціально побував у Новосибірську й узяв жменю землі біля стін будинку, де мешкав Ю. Кондратюк, сказавши: «Ця земля для мене має не меншу цінність, ніж місячний ґрунт». А один із учених, задіяних у програмі НАСА з освоєння Місяця, заявив: «Ми розшукали маленьку непримітну книжечку, видану в Росії відразу після революції. Автор її, Юрій Кондратюк, обґрунтував і розрахував енергетичну вигідність польоту на Місяць за схемою: політ на орбіту Місяця — старт на Місяць із його орбіти — повернення на орбіту Місяця — політ до Землі». На пропозицію американських фахівців трасу польоту на Місяць названо *трасою Кондратюка*.

§ 24. ТЕРТЯ. СИЛИ ТЕРТЯ

Французький фізик Гійом Амонтон (1663–1705), розмірковуючи про роль тертя, писав: «Усім нам траплялося виходити в ожеледицю: скільки зусиль потрібно, щоб утриматися від падіння, скільки смішних рухів доводиться робити, щоби встояти на ногах... Уявімо, що тертя зникло зовсім. Тоді ніякі тіла, чи то завбільшки з кам'яну брилу, чи то малі, як піщинки, ніколи не втримаються одне на одному. Якби не було тертя, Земля являла б собою кулю без нерівностей, подібну до рідкої краплини». Саме про силу тертя йтиметься в цьому параграфі.

1 Дізнаємося про силу тертя спокою

Якщо ви намагаєтесь пересунути важке тіло, наприклад великий ящик, і не можете зрушити його з місця, то це означає, що силу ваших м'язів зрівноважує сила *тертя спокою*, яка виникає між підлогою і нижньою поверхнею ящика (рис. 24.1).

Сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$ — це сила, яка виникає між двома контактними тілами в разі спроби зрушити одне тіло відносно іншого.

Сила тертя спокою завжди напрямлена в бік, протилежний тому, в який би рухалось тіло, якби тертя не було. Ця сила прикладена вздовж поверхні, якою тіло дотикається з іншим тілом.

Сила тертя спокою дорівнює за значенням і протилежна за напрямком силі, що намагається зрушити тіло (рис. 24.2):

$$F_{\text{тертя сп}} = F$$

У разі збільшення сили \vec{F} , що намагається зрушити тіло, збільшується й сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$. Коли зовнішня сила набуде певного значення і тіло ось-ось почне рух, сила тертя спокою стане максимальною.

Найчастіше дія сили тертя спокою є дуже «корисною»: завдяки їй ручки й олівці залишають слід на папері, речі не вислизують із рук, не розв'язуються вузли; ця сила утримує піщини в купі піску, важкі камені на схилі гори, коріння рослин у ґрунті. Саме *сила тертя спокою є тією рушійною силою*, завдяки якій пересуваються люди, тварини, транспорт (рис. 24.3).

Рис. 24.3. Шини автомобіля (а) і ступні людини (б) у момент дотику з поверхнею дороги намагаються, по суті, здійснити рух назад. Через це виникає сила тертя спокою, напрямлена вперед,— рушійна сила

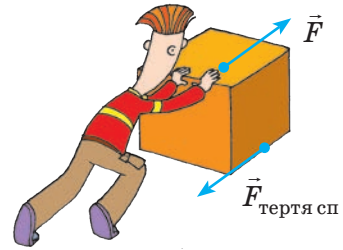


Рис. 24.1. Не вдається зрушити ящик з місця — заважає сила тертя спокою



Рис. 24.2. Сила \vec{F} , яка намагається зрушити тіло, і сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$, що при цьому виникає, зрівноважують одна одну — тіло перебуває в стані спокою



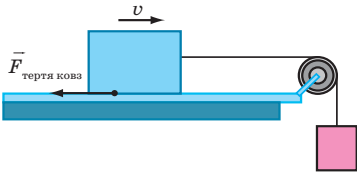


Рис. 24.4. Сила тертя ковзання діє вздовж поверхні дотику тіла та опори і завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху тіла

У техніці, на транспорті, у побуті досить часто вживають заходів, щоб одне тіло не рухалось відносно іншого. Наприклад, для збільшення максимальної сили тертя спокою тротуари під час ожеледиці посипають піском, узимку автомобілі «перевзувають» у зимові шини. Сподіваємося, що кожен з вас також може навести декілька подібних прикладів.

2 Знайомимось із силою тертя ковзання

Коли зовнішня сила, що діє на тіло, ледь перевищить максимальну силу тертя спокою, тіло почне рухатися — сила тертя спокою переходить у *силу тертя ковзання*.

Сила тертя ковзання $\vec{F}_{\text{тертя ковз}}$ — це сила, яка виникає в разі ковзання одного тіла по поверхні іншого і напрямлена протилежно напрямку руху тіла.

Сила тертя ковзання прикладена до поверхні дотику тіл (рис. 24.4) і трохи менша за максимальну силу тертя спокою. Тому тіло починає рухатися з місця ривком, а масивні предмети зрушити важче, ніж потім їх рухати.

3 З'ясуємо, від чого залежить сила тертя ковзання

Прикріпимо до дерев'яного бруска гачок динамометра. Будемо *рівномірно* тягти брусок по горизонтальній поверхні дерев'яної дошки (рис. 24.5). Уважно розгляньте рис. 24.5 і зробіть висновок щодо залежності сили тертя ковзання від властивостей дотичних поверхонь тіл.

Покладемо на тіло додатковий тягар, збільшивши в такий спосіб силу нормальної реакції опори (рис. 24.6). Досліди показують, що сила тертя ковзання зростає у стільки разів, у скільки разів збільшиться сила нормальної реакції опори.

Сила тертя ковзання прямо пропорційна силі нормальної реакції опори:

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$$

Тут N — сила нормальної реакції опори*; μ — коефіцієнт пропорційності, який називається **коефіцієнт тертя ковзання**.

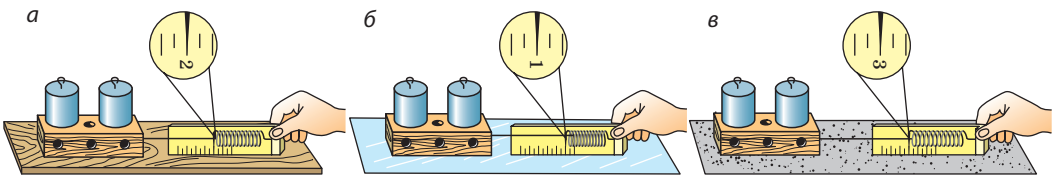


Рис. 24.5. У ході ковзання того самого тіла по різних поверхнях виникає різна сила тертя ковзання: дерев'яний брусок ковзає по дерев'яній дошці (а); склу (б); наждаковому паперу (в)

* $N = mg$, якщо на горизонтальній поверхні на тіло у вертикальному напрямку не діють ніякі сили, крім сили тяжіння та сили нормальної реакції опори.

Коефіцієнт тертя ковзання є величиною без одиниць, оскільки і сила тертя ковзання, і сила нормальної реакції опори вимірюються в ньютонках:

$$\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N} \Rightarrow [\mu] = \frac{\text{Н}}{\text{Н}} = 1.$$

Коефіцієнт тертя ковзання визначається, зокрема, матеріалами, з яких виготовлені дотичні тіла, та якістю обробки їхніх поверхонь.

Значення коефіцієнтів тертя ковзання встановлюють виключно експериментально. Зазвичай таблиці коефіцієнтів тертя ковзання містять орієнтовні середні значення для пар матеріалів:

Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання	Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання
Сталь по льоду	0,02	Папір (картон) по дереву	0,40
Сталь по сталі	0,20	Шкіра по чавуну	0,56
Дерево по дереву	0,25	Гума по бетону	0,75

Якщо провести ті самі досліди, перевернувши брусок на меншу грань, з'ясуємо, що від площі дотичних поверхонь сила тертя ковзання не залежить.

4 З'ясуємо причини виникнення та способи зменшення сили тертя

Поверхні твердих тіл завжди є шорсткими, нерівними. Під час руху або спроби руху нерівності чіпляються одна за одну й деформуються. У результаті виникає сила, що протидіє руху тіла (рис. 24.7).

Сила тертя, як і сила пружності, — вияв сил міжмолекулярної взаємодії*. Саме тому, коли дотикаються ретельно відполіровані поверхні, тіла так щільно прилягають одне до одного, що значна кількість молекул дотичних поверхонь опиняється на відстані, на якій стає суттєвим міжмолекулярне притягання. Це може спричинити зростання сили тертя.

Силу тертя ковзання можна зменшити, якщо змастити поверхні. Мастило, переважно рідке, потрапивши між дотичними поверхнями, віддалить їх одну від одної. Тобто ковзатимуть не поверхні тіл, а шари мастила,— тертя

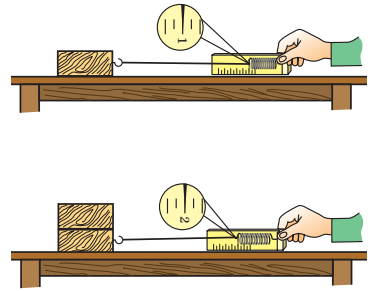


Рис. 24.6. Сила тертя ковзання зростає, якщо збільшити силу, що притискає тіло до поверхні стола



Рис. 24.7. Причиною виникнення сили тертя є наявність нерівностей на поверхнях тіл, які дотикаються

* Докладне дослідження тертя та обґрунтування причин його виникнення є досить складними, і це виходить за межі шкільного курсу фізики.

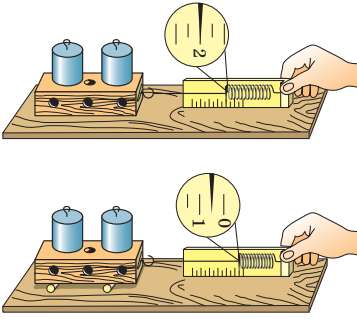


Рис. 24.8. Якщо під дерев'яний брусок підкласти круглі олівці, то пересувати його по столу стане значно легше

ковзання (так зване сухе тертя) заміниться на в'язке (рідке) тертя, за якого сила тертя є істотно меншою.

5 Дізнаємося про силу тертя кочення

Давній досвід людства показує, що важку кам'яну брилу легше перекочувати на колодах, ніж просто тягти по землі.

Якщо одне тіло котиться вздовж поверхні іншого, то маємо справу з **тертям кочення**. Сила *тертя кочення* зазвичай набагато менша, ніж сила *тертя ковзання* (рис. 24.8). Саме тому для зменшення сили тертя людство здавна використовує колесо, а в різноманітних машинах і механізмах — підшипники (рис. 24.9).

6 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Щоб рівномірно рухати по столу книжку масою 1 кг, треба прикласти горизонтальну силу 2 Н. Чому дорівнює коефіцієнт тертя ковзання між книжкою і столом?

Дано:

$$F = 2 \text{ Н}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

μ — ?

Аналіз фізичної проблеми. Зробимо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо всі сили, що діють на книжку: $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — сила тяжіння; \vec{N} — сила нормальної реакції опори; \vec{F} — сила, під дією якої книжка рухається по поверхні столу; $\vec{F}_{\text{тертя ков}}$ — сила тертя ковзання.

Книжка рухається рівномірно, отже, сили, які діють на неї, попарно скомпенсовані: $F = F_{\text{тертя ков}}$, $N = F_{\text{тяж}}$. За цих умов і знайдемо шуканий коефіцієнт тертя.

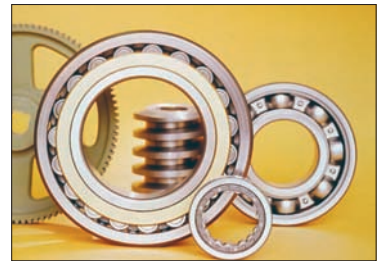
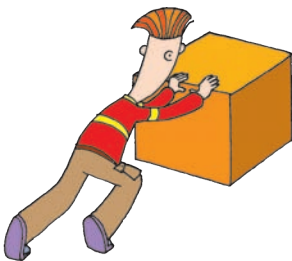
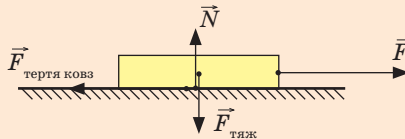


Рис. 24.9. Заміна ковзання на кочення приводить до зменшення сили тертя. Це було використано, зокрема, для створення кулькових та роликових підшипників

Пошук математичної моделі, розв'язання. За формулою для визначення сили тертя ковзання маємо:

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N \Rightarrow \mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}.$$

Оскільки $F_{\text{тертя ковз}} = F$ а $N = F_{\text{тяж}} = mg$, то $\mu = \frac{F}{mg}$.

Обчислимо значення шуканої величини:

$$[\mu] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}}{\frac{\text{Н}}{\text{Н}}} = 1; \quad \mu = \frac{2}{1 \cdot 9,8} \approx \frac{2}{1 \cdot 10} = 0,2.$$

Аналіз результатів: коефіцієнт тертя 0,2 властивий такій парі, як дерево по дереву, отже, результат правдоподібний.

Відповідь: коефіцієнт тертя ковзання між книжкою і столом дорівнює 0,2.



Підбиваємо підсумки

Сила тертя спокою — це сила, яка виникає між двома дотичними тілами в разі спроби зрушити одне тіло відносно другого. Сила тертя спокою завжди перешкоджає появі відносного руху дотичних тіл, дорівнює за значенням і протилежна за напрямком зовнішній силі: $F_{\text{тертя сп}} = F$.

Сила тертя ковзання — це сила, яка виникає під час ковзання одного тіла по поверхні іншого. Сила тертя ковзання прямо пропорційна силі нормальної реакції опори N : $F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$, де μ — коефіцієнт тертя ковзання, що залежить від матеріалів, з яких виготовлені дотичні тіла, якості обробки їхніх поверхонь і наявності між ними сторонніх речовин.

Під час кочення одного тіла вздовж поверхні іншого виникає сила тертя кочення, яка зазвичай менша за силу тертя ковзання.



Контрольні запитання

1. Які види тертя ви знаєте?
2. Яка сила заважає зрушити з місця велику шафу? Куди напрямлена ця сила?
3. Чому силу тертя спокою називають рушійною силою?
4. Навіщо взимку тротуари посипають піском?
5. Коли спостерігається сила тертя ковзання і від яких чинників вона залежить?
6. Чому в таблиці коефіцієнтів тертя ковзання надано пари матеріалів, а не кожний матеріал окремо?
7. Якою є природа сили тертя ковзання?
8. Як можна зменшити силу тертя ковзання?
9. Чому кругле тіло котити легше, ніж тягти?



Вправа № 24

1. Чи діє сила тертя на книжку, яка лежить на горизонтальному столі?
2. Щоб відкрутити гайку, треба докласти зусиль. Чому гайка набагато легше відкручується, якщо її змочити гасом?
3. Брусок лежить на горизонтальній поверхні стола. До бруска за допомогою динамометра прикладають горизонтальну силу 3 Н. Брусок при цьому рухається рівномірно в напрямку дії сили.
 - а) Чому дорівнює сила тертя, що діє на брусок?
 - б) Як поводитиметься брусок і якою буде сила тертя, якщо динамометр показуватиме 2 Н?

4. Намагаючись зрушити з місця піаніно, до нього прикладають горизонтальну силу, що поступово збільшується. Піаніно почало рухатися, коли сила досягла 500 Н.
 - а) Як змінювалася сила тертя між піаніно і підлогою?
 - б) Що відбуватиметься, якщо силу збільшувати ще?
 - в) Яким є коефіцієнт тертя ковзання між піаніно і підлогою, якщо маса піаніно становить 200 кг?
5. За допомогою пружини жорсткістю 96 Н/м брусок масою 2,4 кг рівномірно тягнуть по столу. Яким є видовження пружини, якщо коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,2?
6. Придумайте задачу, обернену до задачі, розглянутої в параграфі, та розв'яжіть її. Пам'ятайте, що значення фізичних величин, подані в умові задачі, та отриманий результат мають бути реальними.
7. Зменшення тертя внаслідок розташування твердих котків між поверхнями, що ковзають одна по одній, добре відоме. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою і знайдіть інформацію про подібні приклади в історії. Поділіться цією інформацією з однокласниками.
8. Підготуйте доповідь про силу опору середовища. Зверніть увагу на те, від яких чинників вона залежить, у якому випадку її необхідно збільшити або зменшити, як цього досягати. Добре, якщо ви підготуєте якісь експерименти та продемонструєте їх однокласникам.



Експериментальне завдання

«Міцна смужка». Покладіть на поверхню води порожню пластикову пляшку або інший предмет, що плаватиме. Візьміть смужку паперу і спробуйте за її допомогою зрушити пляшку. Чи зможете ви так само зрушити пляшку, яка лежить на поверхні стола? Чому? Підтвердьте свою думку експериментально.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема. Визначення коефіцієнта тертя ковзання.

Мета: визначити коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву.

Обладнання: дерев'яний брусок, дерев'яна лінійка, набір тягарців, динамометр.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

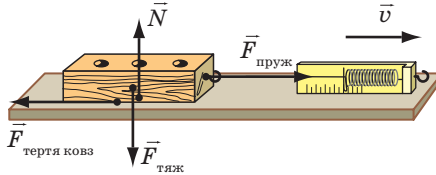
1. Перед тим як виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання:
 - 1) У чому причина виникнення сили тертя ковзання?
 - 2) Від яких чинників залежить сила тертя ковзання і куди вона напрямлена?
 - 3) За якою формулою обчислюють силу тертя ковзання?
2. Визначте ціну поділки шкали динамометра.

▶ Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Підвісивши брусок до динамометра, виміряйте вагу бруска, яка під час експерименту буде дорівнювати силі нормальної реакції опори ($N = P$).

2. Прикріпивши брусок до гачка динамометра, покладіть його широким боком на горизонтально розташовану лінійку. Рівномірно переміщуйте брусок вздовж лінійки (див. рисунок). За показами динамометра визначте силу тертя ковзання ($F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{пруж}}$).



3. Повторіть експеримент ще тричі, поклавши на брусок спочатку один тягарець, потім одночасно два, а потім одночасно три тягарці ($N = P_{\text{брус}} + P_{\text{тягар}}$).

Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть коефіцієнт тертя ковзання для кожного досліді:

$$\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}, \text{ результати занесіть до таблиці.}$$

2. Обчисліть середнє значення коефіцієнта тертя ковзання:

$$\mu_{\text{сєр}} = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4}{4}.$$

Номер досліді	Сила тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$, Н	Сила реакції опори N , Н	Коефіцієнт тертя ковзання μ	Середнє значення коефіцієнта тертя ковзання $\mu_{\text{сєр}}$

3. Визначте відносну похибку вимірювання сили тертя ковзання та сили реакції опори: $\varepsilon_F = \frac{\Delta F}{F_1}$, $\varepsilon_N = \frac{\Delta N}{N_1}$. Тут $\Delta F = \Delta N$ — ціна поділки шкали динамометра.
4. Визначте відносну та абсолютну похибки вимірювання коефіцієнту тертя ковзання: $\varepsilon_\mu = \varepsilon_F + \varepsilon_N$; $\Delta\mu = \varepsilon_\mu \cdot \mu_{\text{сєр}}$.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте, яку фізичну величину ви вимірювали; запишіть результат вимірювання у вигляді $\mu = \mu_{\text{сєр}} \pm \Delta\mu$; зіставте одержаний результат із табличним значенням коефіцієнта тертя ковзання дерева по дереву; зазначте, які чинники вплинули на точність експерименту.



Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту на підтвердження того, що коефіцієнт тертя ковзання не залежить від площі дотичних поверхонь. Проведіть цей експеримент.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. «Взаємодія тіл. Сила». Частина 1. Сила. Види сил

У завданнях 1–8 виберіть одну правильну відповідь.

- (1 бал) Якщо на тіло не діють інші тіла, то тіло рухається:
а) зі швидкістю, яка зменшується;
б) зі швидкістю, яка збільшується;
в) рівномірно по криволінійній траєкторії;
г) прямолінійно рівномірно.
- (1 бал) Деформація тіла є причиною виникнення сили:
а) тяжіння; б) пружності; в) тертя ковзання; г) тертя спокою.
- (1 бал) Вага тіла — це:
а) сила притягання тіла до Землі;
б) сила, яка виникає в разі будь-якої деформації тіла;
в) сила, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс;
г) сила, яка виникає під час ковзання тіла.
- (1 бал) На шальках зрівноважених терезів лежать два кубики (рис. 1). Чи однаковими є густини речовин, із яких зроблені кубики?
а) так;
б) ні, густина кубика 1 менша, ніж густина кубика 2;
в) ні, густина кубика 1 більша, ніж густина кубика 2;
г) визначити неможливо.

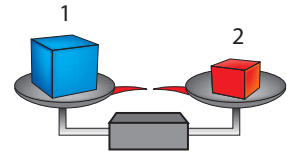


Рис. 1

- (2 бали) Найбільша комаха (рис. 2) — вета — мешкає в Новій Зеландії. Її маса сягає 80 г. З якою силою Земля притягує цю комаху?
а) 8 мН; б) 80 мН; в) 0,8 Н; г) 8 Н.
- (2 бали) Щоб розтягти недеформовану пружину на 5 см, треба прикласти силу 15 Н. На скільки розтяглася б ця пружина, якби до неї була прикладена сила 3 Н?
а) на 1 см; б) 3 см; в) 9 см; г) 10 см.



Рис. 2

- (2 бали) Суцільна чавунна кулька підвішена до динамометра (рис. 3). Яким є об'єм кульки?
а) 35 см³; б) 50 см³; в) 70 см³; г) 350 см³.
- (2 бали) Маса золота об'ємом 1 м³ є більшою, ніж маса свинцю того самого об'єму, на:
а) 8,0 г; б) 19,3 г; в) 8000 кг; г) 11 300 кг.

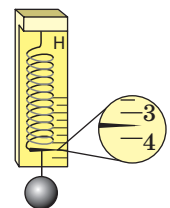


Рис. 3

9. (2 бали) На рис. 4 зображені сили, що діють на книжку, яку рівномірно тягнуть за допомогою динамометра по столу в горизонтальному напрямку. Назвіть ці сили. Зіставте їх.

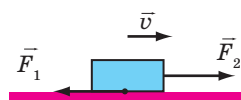


Рис. 4

10. (3 бали) На підлозі лежить цеглина масою 8 кг. На неї кладуть ще одну таку саму (рис. 5). Виконайте схематичний рисунок у зошиті і покажіть сили, що діють на нижню цеглину. Масштаб: 1 см — 40 Н.

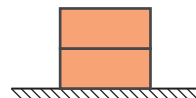


Рис. 5

11. (3 бали) Установіть відповідність між назвою сили та явищем, яке відбувається завдяки її дії.

- | | |
|------------------------------|--|
| A Сила пружності | 1 Гепард розганяється під час полювання |
| B Сила тертя ковзання | 2 Літак здійснює політ |
| B Сила тертя спокою | 3 Ковзаняр гальмує на повороті |
| Г Сила тяжіння | 4 Краплі дощу скачуються з даху |
| | 5 Стріла набуває швидкості під час пострілу |

12. (3 бали) Відро об'ємом 12 л наповнили водою на одну третину. З якою силою відро тисне на підлогу? Масою відра знехтуйте.

13. (3 бали) У порожню мензурку масою 240 г налили рідину (рис. 6). Сила тяжіння, що діє на мензурку з рідиною, дорівнює 3,75 Н. Визначте, яку рідину налили в мензурку.

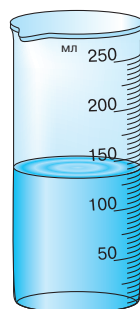


Рис. 6

14. (4 бали) Щоб одержати латунь, переплавили мідь об'ємом 0,2 м³ і цинк об'ємом 50 дм³. Якою є густина одержаної латуні? Об'єм сплаву дорівнює сумі об'ємів його складників.

15. (4 бали) За графіком залежності видовження пружини від маси вантажу, підвішеного до цієї пружини, визначте жорсткість пружини (рис. 7).

16. (4 бали) Яка маса саней, якщо для рівномірного руху горизонтальною дорогою до них треба прикладати горизонтальну силу 500 Н? Коефіцієнт тертя між санями і дорогою дорівнює 0,2.

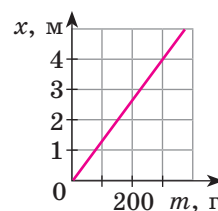


Рис. 7

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

ЧАСТИНА II. ТИСК. ЗАКОН АРХІМЕДА. ПЛАВАННЯ ТІЛ

§ 25. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ. СИЛА ТИСКУ

Чому мешканці Півночі здавна для пересування по снігу використовують лижі? Чому влітку на м'якому асфальті жінка, взута в туфлі на шпильках, залишає більш помітні й глибокі сліди порівняно з чоловіком у взутті з широкою підошвою? Чому шила та леза ножів час від часу нагострюють? Чому цвях вістряч уперед входить у дошку легко, а головою вперед — ні? Спробуймо отримати відповіді на ці запитання.

1 Спостерігаємо наслідки дії сили

Одним із наслідків дії сили є деформація тіл: чим більша сила діє на тіло, тим більшою буде деформація. Проте деформація залежить не тільки від сили, але й від площі тієї поверхні, перпендикулярно до якої ця сила діє. Натисніть на поверхню піску спочатку розкритою долонею, а потім пальцем — і ви переконаєтесь у цьому (рис. 25.1).

Можна провести ще один дослід: поставте дерев'яний паралелепіпед на сніг спочатку на один бік, а потім на інший, більшої площі (рис. 25.2). У першому випадку брусок більше провалиться в сніг, хоча в обох випадках сила, що діє на сніг з боку бруска (тобто вага бруска), є однаковою.

2 Даємо означення тиску

Для характеристики залежності результату дії сили від площі поверхні, на яку ця сила діє, використовують поняття тиску.

Тиск p — це фізична величина, яка характеризує результат дії сили і дорівнює відношенню сили, яка діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

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

Тут F — сила тиску — сила, що діє на поверхню площею S перпендикулярно до цієї поверхні.



Рис. 25.1. Якщо на поверхню піску натиснути рукою, то глибина сліду залежатиме від того, як саме було натиснуто — долонею чи пальцем (за однакової сили тиску)

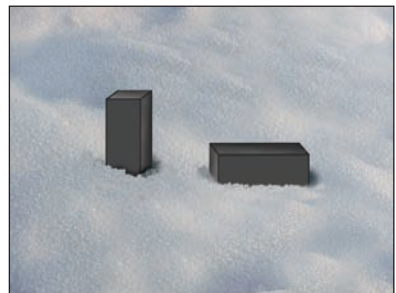


Рис. 25.2. Дерев'яний брусок провалюється в сніг сильніше, якщо він поставлений на меншу грань

Одиницею тиску в СІ є **паскаль** — названо на честь французького вченого Блеза Паскаля (рис. 25.3):

$$[p] = \text{Па}.$$

1 Па — це тиск, який створює сила в 1 Н, що діє перпендикулярно до поверхні площею 1 м²:

$$1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

1 Па — невеликий тиск (такий приблизно чинить тіло масою 100 г на поверхню площею 1 м²), тому часто використовують кратні одиниці тиску: гектопаскаль (гПа), кілопаскаль (кПа), мегапаскаль (МПа):

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}; 1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па};$$

$$1 \text{ МПа} = 1000 \text{ 000 Па}.$$

Порівняти тиски, що створюються різними тілами, можна за допомогою таблиці:

Створення тиску	Тиск, кПа	Створення тиску	Тиск, кПа
Людина на підлогу, на якій вона стоїть	20–30	Швацька голка на тканину	До 100 000
Гусеничний трактор на ґрунт	40–50	Укус собаки	До 150 000
Колеса легкового автомобіля на дорогу	200–300	Колеса залізничного вагона на рейки	300 000
Лезо лопати на ґрунт	1000–2000	Укус комара	100 000 000



Рис. 25.3. Блез Паскаль (1623–1662) — французький науковець, філософ, письменник. Учений мав дивовижно різнобічні інтереси, що, втім, було характерним для людей доби Відродження

3

З'ясуємо, як можна збільшити або зменшити тиск

З визначення тиску $\left(p = \frac{F}{S} \right)$ випливає:

- 1) тиск прямо пропорційний силі, яка діє на певну площу поверхні: зі збільшенням сили тиск збільшується, а зі зменшенням сили тиск зменшується;
- 2) якщо сила, що діє на поверхні, однакова, то тиск тим більший, чим менша площа поверхні, і навпаки.



Рис. 25.4. Щоб прикладати менше зусиль під час роботи з деякими інструментами, їх нагострюють



Рис. 25.5. Людина провалилася в сніг, а всюдихід завдяки широким колесам залишився на його поверхні

Отже, тиск можна змінити, змінюючи площу поверхні, на яку діє сила тиску. Для збільшення тиску площу слід зменшувати (саме тому нагострюють інструменти — ножиці, шила тощо) (рис. 25.4). І навпаки, для зменшення тиску площу поверхні збільшують (рис. 25.5).

4 Учимися розв'язувати задачі

Задача. Порівняйте тиск, який чинять на поверхню снігу пішохід і лижник. Маса кожного разом зі спорядженням дорівнює 63 кг. Площа підшви черевика становить приблизно 210 см^2 , площа лижі — близько 1800 см^2 .

Дано:

$$m_1 = m_2 = 63 \text{ кг}$$

$$S_{01} = 210 \text{ см}^2 = 0,021 \text{ м}^2$$

$$S_{02} = 1800 \text{ см}^2 = 0,18 \text{ м}^2$$

$$g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$p_1 - ?$$

$$p_2 - ?$$

Аналіз фізичної проблеми. Сила тиску, з якою людина тисне на опору, — це вага людини: $P = mg$. Згадаймо, що тиск розподіляється на дві ноги. Будемо вважати, що на обидві ноги навантаження розподіляється рівномірно. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

$$\text{За визначенням тиску: } p = \frac{F}{S}.$$

$$\text{Тут } F = P = mg, \text{ а } S = 2S_0.$$

Підставляючи вирази для F та S у формулу тиску,

$$\text{маємо: } p = \frac{mg}{2S_0}.$$

Перевіримо одиницю шуканих величин:

$$[p] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{Н}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Знайдемо числове значення шуканих величин.

$$\text{Для пішохода: } p_1 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,021} = \frac{30}{0,002} = 15\,000 \text{ (Па)},$$

$$p_1 = 15 \text{ кПа}.$$

$$\text{Для лижника: } p_2 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,18} = \frac{70}{0,04} = 1750 \text{ (Па), } p_2 = 1,75 \text{ кПа.}$$

Аналіз результату: тиск, який створює пішохід, приблизно у 8,6 разу більший за тиск, який створює лижник. Це реальний результат.

Відповідь: тиск, який створює пішохід, становить 15 кПа; лижник створює приблизно у 8,6 разу менший тиск, який дорівнює 1,75 кПа.



Підбиваємо підсумки

Тиск p — це фізична величина, яка характеризує результат дії сили і дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні: $p = \frac{F}{S}$; одиниця тиску в СІ — паскаль $\left(\text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right)$.

Для збільшення тиску слід зменшувати площу, на яку діє сила тиску, а для зменшення тиску — збільшувати площу.



Контрольні запитання

- Від чого залежить результат дії сили?
- Дайте означення тиску.
- Назвіть одиницю тиску в СІ.
- Дайте означення одиниці тиску.
- Як можна збільшити тиск? зменшити тиск? Наведіть приклади.



Вправа № 25

- Людина, яка сидить на дивані, створює на його поверхню певний тиск. Як зміниться тиск, якщо людина ляже на диван?
- Чому комар своїм хоботком (рис. 1) може створити тиск набагато більший, ніж тиск, що створює на підлогу людина, коли стоїть?
- Чому для роботи в багnistій місцевості трактор на гусеницях зручніший, ніж трактор на колесах?
- Площа різального краю лопати становить 70 м^2 . Який тиск створює лопата на ґрунт, якщо людина діє на лопату із силою 210 Н ?
- Тиск гусеничного трактора на ґрунт становить 45 кПа .
 - Що це означає?
 - З якою силою трактор тисне на ґрунт, якщо площа опори його гусениць $1,5 \text{ м}^2$?
- Подайте зазначений тиск у паскалях: $0,35 \text{ кН/м}^2$, $1,5 \text{ Н/см}^2$, 36 МН/см^2 .
- Хлопчик виїхав на лижах на снігову галявину. Сніговий покрив галявини витримує тиск 2 кПа . Ширина лиж дорівнює 10 см , їхня довжина становить $1,5 \text{ м}$. Якою може бути максимальна маса хлопчика, щоб він не провалювався в сніг?
- Ніхто не може бути повністю застрахований від нещасного випадку на льоду. Як повинні поводитися рятувальник і сам постраждалий, якщо сталася біда і людина провалилася під лід (рис. 2)? Поясніть їхні дії з точки зору матеріалу цього параграфу.



Рис. 1



Рис. 2

9. За незмінної площі поверхні тиск прямо пропорційний силі тиску. Побудуйте графік залежності тиску на поверхню площею $0,25 \text{ м}^2$ від сили, що діє перпендикулярно до цієї поверхні.
10. Скориставшись Інтернетом, розрахуйте тиск, який створюють тварини на ґрунт. Як цей тиск залежить від умов їхнього життя? Як тварини збільшують і зменшують тиск?



Експериментальне завдання

«Догори ногами». З'ясуйте, у скільки разів зміниться тиск, створюваний вашим письмовим столом на підлогу, якщо його перевернути ніжками догори. Відповідь на це запитання слід знайти, не перевертаючи і не зважуючи стіл.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

Фізика і техніка в Україні



Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України (Київ)

Інститут механіки імені Степана Прокоповича Тимошенка є найпотужнішим в Україні та відомим у світі дослідницьким центром. Основні напрями наукової діяльності Інституту — механіка неоднорідних середовищ, динаміка та стійкість механічних систем, механіка руйнування та втома матеріалів.

Теоретичні й експериментальні результати науковців Інституту застосовують у ракетно-космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості. В Інституті сформувалися визнані у світі школи механіки, зокрема школа нелінійних коливань Крилова — Боголюбова — Митропольського, школа Гузя.

З 1976 р. Інститут очолює академік НАНУ *Олександр Миколайович Гузь* — член багатьох академій наук, лауреат державних премій України та Радянського Союзу, премій Національної академії наук України; нагороджений медаллю Паскаля Європейської Академії Наук (2007), медаллю Вернадського Національної академії наук України.

§ 26. ТИСК ГАЗІВ І РІДИН. ЗАКОН ПАСКАЛЯ



Чому розтягується гумова плівка, з якої зроблена повітряна кулька, під час її надування? Відповідь зрозуміла: у кульку додають повітря. А чи можна повітряну кульку змусити збільшити об'єм без того, щоб її надувати? Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, в яку її наливо, а й на бічні стінки? Як передається тиск усередині газів та рідин?

Ці загадки тиску газів та рідин ми спробуємо розгадати в наступному параграфі.

1 Спостерігаємо вияви тиску газу

Покладемо злегка надуту зав'язану повітряну кульку під ковпак повітряного насоса (рис. 26.1, а). Якщо з-під ковпака відкачувати повітря, то об'єм кульки почне збільшуватися (рис. 26.1, б). Спробуємо розібратися, чому так відбувається.

Частинки газу, що рухаються в усіх напрямках, «бомбардують» ізсередини дно, стінки та кришку посудини і так створюють на них тиск (рис. 26.2). Зрозуміло, що сила удару однієї частинки дуже мала, проте частинок у газі надзвичайно багато: за секунду кількість їхніх ударів по поверхні стінок посудини становить число, яке має 23 нулі! Таким чином, загальна сила, з якою вдаряє така величезна кількість частинок, є значною.

Частинки газу рухаються хаотично, і тому тиск, який вони створюють, не залежить від напрямку, адже кількість частинок, що рухаються в будь-якому напрямку, в середньому є однаковою.

Повернімося, втім, до надувної кульки. Повітря (газ) усередині й зовні кульки створює тиск відповідно на внутрішню і зовнішню поверхні гумової плівки. Якщо ці тиски є однаковими, то сила тиску зсередини і сила тиску ззовні кульки зрівноважують одна одну і гумова плівка не розтягується. А от якщо тиск усередині кульки стає більшим від зовнішнього тиску, то кулька збільшує свій об'єм.

Сподіваємося, тепер ви легко зможете пояснити, чому повітряна кулька роздувається і тоді, коли ми її надуваємо, і тоді, коли відкачуємо повітря ззовні.

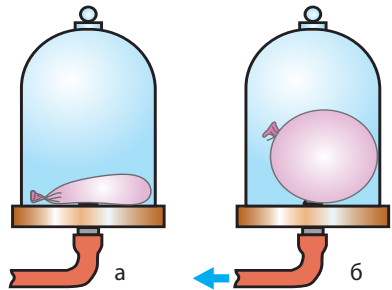


Рис. 26.1. Об'єм злегка надутої повітряної кульки (а) збільшується в разі зменшення зовнішнього тиску (б)

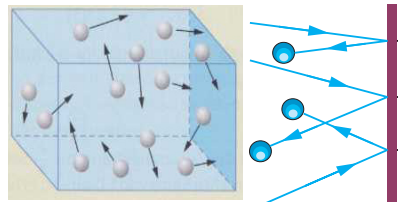


Рис. 26.2. Тиск газу на стінки посудини створюється численними ударами по них молекул газу

2 Дізнаємося, від чого залежить тиск газів

Тиск газу створюється ударами його частинок, тому збільшення як кількості, так і сили ударів на поверхню одиничної площі приведе до збільшення тиску газу. Отже, тиск газів можна збільшити різними способами.

Перший спосіб — збільшити густину газу $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$. Для цього можна додати газу всередину посудини (збільшити масу m газу), а можна зменшити об'єм V самої посудини (рис. 26.3).

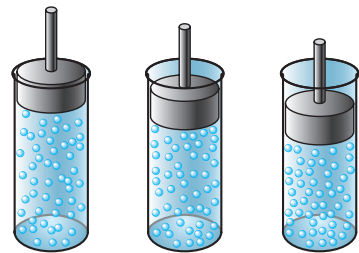


Рис. 26.3. Якщо за допомогою поршня зменшити об'єм газу, то збільшиться кількість ударів його молекул на одиницю площі стінок посудини — тиск зросте

Другий спосіб — *збільшити температуру газу*. Як ви добре знаєте, чим більша температура газу, тим більшою буде швидкість руху його частинок. Удари частинок об стінки посудини стануть частішими, загальна сила ударів частинок зросте, і внаслідок цього в посудині збільшиться тиск газу.

Природно, що *зменшення тиску газу буде відбуватись у разі зменшення його густини або температури*.



Рис. 26.4. Рідина створює тиск і на бічну поверхню посудин



Рис. 26.5. Вода передає додатковий тиск у всі боки і внаслідок цього виходить із пакета в усіх напрямках

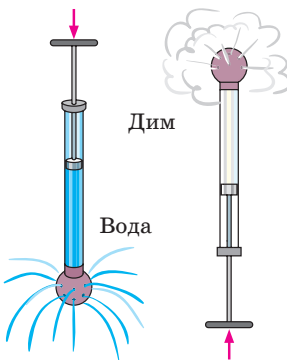


Рис. 26.6. Газ, як і рідина, передає додатковий тиск у всі боки

3 Досліджуємо тиск рідин

Рідини зберігають об'єм, але, на відміну від твердого тіла, легко змінюють свою форму — вони набувають форми тієї посудини, в якій містяться, тобто *рідини є плинними*. Тому тверде тіло своєю вагою створює тиск тільки на поверхню, на якій воно розміщене, а рідина створює тиск як на дно, так і на бічні стінки посудини, в якій міститься. Якщо в бічній поверхні посудини, заповненої рідиною, зробити отвори, то рідина полетиться через них (рис. 26.4).

Наслідком плинності рідини є також те, що *в будь-якій точці всередині рідини тиск рідини є однаковим у всіх напрямках*.

3 Відкриваємо закон Паскаля

Плинність рідини приводить до того, що рідина здатна передавати тиск по всьому об'єму посудини, в якій міститься. Зробимо голкою в поліетиленовому пакеті невеликі отвори, наберемо в пакет воду і зав'яжемо. Натиснемо на пакет — вода з пакета буде вилитися з усіх отворів (рис. 26.5). Аналогічний експеримент можна провести з повітрям або іншим газом (рис. 26.6). Ґрунтуючись на подібних дослідах, французький фізик *Б. Паскаль* відкрив закон, який зараз має назву закон Паскаля:

Тиск, створюваний на поверхню нерухомої рідини, передається рідиною однаково в усіх напрямках.

Властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках широко використовується в техніці та повсякденному житті. Якби закон Паскаля не виконувався, ми не могли б чути — повітря не передавало б звук, не працювала б наша серцево-судинна система, — адже незважаючи на те, що наші кровоносні судини мають велику кількість вигинів, тиск, створюваний серцем, передається в будь-яку частину нашого тіла.

Саме на законі Паскаля ґрунтується дія водогону, системи гальмування багатьох транспортних засобів, системи відкривання дверей, домкратів і насосів.



Підбиваємо підсумки

Гази створюють тиск на всі внутрішні поверхні посудини внаслідок численних ударів об ці поверхні частинок газу. Тиск газу зростає в разі зростання густини або температури газу і зменшується в разі зменшення густини або температури.

Через плинність рідина створює тиск не тільки на дно, але й на бічні стінки посудини.

Тиск, створюваний на поверхню нерухомої рідини, передається рідиною однаково в усіх напрямках (закон Паскаля). Майже те саме можна сказати й про газу.



Контрольні запитання

1. Як можна довести на досліді, що газу створюють тиск на стінки посудини, в якій містяться?
2. У чому полягає причина існування тиску в газах?
3. Чому тиск газів зростає зі зростанням їхньої густини?
4. Як змінюється тиск газів у разі збільшення або зменшення температури газів? Відповідь поясніть.
5. Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, але й на її бічні стінки?
6. Сформулюйте закон Паскаля.
7. Доведіть, що властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках має неабияке значення в нашому житті.



Вправа № 26

1. Як змінюватиметься тиск у повітряній кульці, якщо її спочатку надути, а потім міцно притиснути до грудей? Чи можна передбачити, у якому місці лопне кулька?
2. Чому не можна допускати зайвого нагрівання газових балонів (навіть із газом, який не горить)?
3. Чи зміниться, а якщо зміниться, то як, тиск у шинах вашого велосипеда, якщо ви вирішите покатати свого приятеля (рис. 1)?
4. У нафтовій промисловості для піднімання нафти на поверхню землі застосовують стиснене повітря, яке компресори нагнітають у простір над поверхнею нафтоносного шару. На якому законі ґрунтується цей спосіб? Поясніть свою думку.
5. Чому вибух снаряда під водою є згубним для істот, які живуть у воді?
6. Якщо вистрілити з дрібнокаліберної рушниці у варене яйце, то в яйці утвориться отвір. Якщо вистрілити в сире — яйце розлетиться. Поясніть це явище.
7. У циліндрі під поршнем площею 80 см^2 міститься вода. Вантаж якої маси потрібно покласти на поршень, щоб тиск води на дно циліндра зріс на 2 кПа ?
8. Які зміни відбудуться з поверхнею рідини в запаяній зверху трубці (рис. 2), якщо трубку охолоджувати? нагрівати?
9. Скориставшись Інтернетом або додатковою літературою, ознайомтеся з тим, як працюють пневматичні оприскувачі для боротьби із сільськогосподарськими шкідниками.



Рис. 1

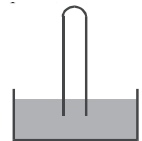


Рис. 2



Експериментальні завдання

1. «Швидкий ремонт». Візьміть тенісну кульку, поверхня якої має вм'ятину, та випряміть її, зануривши на певний час у гарячу воду. Що витисне вм'ятину зсередини?
2. «Мильні бульбашки». Понадувайте мильні бульбашки. Чому вони мають форму кулі?

§ 27. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК

На рис. 27.1 зображений сучасник Блезе Паскаля, який стоїть на шкіряній подушці, заповненій водою. З подушкою сполучена відкрита зверху трубка, яку дослідник тримає в руках. Чому дошка, на якій стоїть дослідник, не стискає подушку повністю і не виганяє через трубку всю воду назовні? Відповіді на це та багато інших запитань ви зможете, ознайомившись із цим параграфом.

1 Отримуємо формулу для розрахунку гідростатичного тиску

Ми вже говорили про те, що внаслідок притягання до Землі і завдяки власній плинності рідина створює тиск як на дно, так і на стінки посудини, в якій вона міститься. Рідина створює тиск і на будь-яке тіло, занурене в неї.

Тиск нерухомої рідини називають гідростатичним тиском.

Розрахуємо гідростатичний тиск на дно посудини. Для того щоб спростити виведення формули, візьмемо циліндричну посудину з площею дна S . Нехай у посудину налита рідина густиною ρ , а висота стовпа рідини в цій посудині h (рис. 27.2).



Рис. 27.1. Сила тиску води в шкіряній подушці є достатньою, щоб утримувати дорослу людину

Щоб визначити тиск, який створює рідина на дно посудини, слід силу F , що діє на дно, поділити на площу дна S :

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

У нашому випадку сила, яка створює тиск на дно посудини, — це вага рідини. Оскільки рідина в посудині нерухома, то вага рідини дорівнює добутку маси рідини m на прискорення вільного падіння g :

$$F = P = mg.$$

Масу рідини знайдемо через об'єм та густину рідини: $m = \rho V$; об'єм наливої в посудину рідини — через висоту h стовпа рідини та площу S дна посудини: $V = Sh$. Тобто масу рідини можна визначити за формулою:

$$m = \rho Sh.$$

Підставивши по черзі вирази для F і m у формулу тиску, отримуємо:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho g Sh}{S} = \rho gh.$$

Отже, маємо формулу для визначення гідростатичного тиску — тиску, який чинить нерухома рідина на дно посудини:

$$p = \rho gh$$

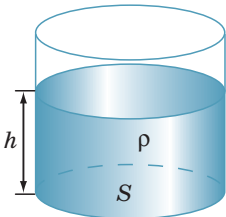


Рис. 27.2. Через притягання Землі рідина створює тиск на дно посудини

Як бачимо, *гідростатичний тиск залежить тільки від густини рідини та висоти стовпа рідини в посудині.*

2 Проводимо дослідження та робимо висновки

Залежність гідростатичного тиску тільки від висоти стовпа рідини вперше продемонстрував *Блез Паскаль*. Узнявши бочку, до країв заповнену водою, дослідник герметично заклав її кришкою зі вставленою довгою тонкою трубкою. Забезпечивши герметичність з'єднання трубки і кришки, Паскаль, піднявшись на балкон другого поверху житлового будинку, вилив у трубку лише одну склянку води. Вода заповнила всю трубку і створила на стінки та дно бочки настільки величезний тиск, що в бічних стінках бочки з'явилися щілини (рис. 27.3).

Зверніть увагу! Відповідно до закону Паскаля, тиск рідини передається в усіх напрямках, тож за формулою $p = \rho gh$ можна також розрахувати тиск, який створює шар рідини висотою h на будь-яке тіло, занурене в цю рідину на дану глибину, а також тиск на стінки посудини.

Із закону Паскаля та формули гідростатичного тиску також випливає, що *тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні* є однаковим.*

Розгляньте рис. 27.4. Здавалося б, тиск води на дні підводної печери менший, аніж на дні відкритого моря. Проте якби це дійсно було так, унаслідок більшого тиску вода з моря ринула б до печери. Але цього не відбувається.

3 Учимся розв'язувати задачі

Задача. У дні басейна розташований круглий отвір, закритий пробкою радіусом 5 см. Яку мінімальну силу потрібно прикласти до пробки, щоб витягти її з отвору, якщо висота води в басейні дорівнює 2 м? Масу пробки та силу тертя між пробкою й отвором не враховувати.

Дано:

$$h = 2 \text{ м}$$

$$r = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F = ?$$

Аналіз фізичної проблеми. Витягти пробку заважає сила тиску води в басейні. Масу пробки та силу тертя враховувати не потрібно, тому мінімальна сила, потрібна для витягання пробки з отвору, за значенням дорівнює силі гідростатичного тиску води на пробку: $F = F_{\text{тиску}}$ (див. рисунок).

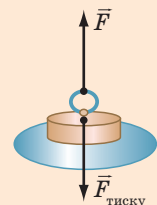


Рис. 27.3. У 1648 р. Блез Паскаль склянкою води розірвав бочку

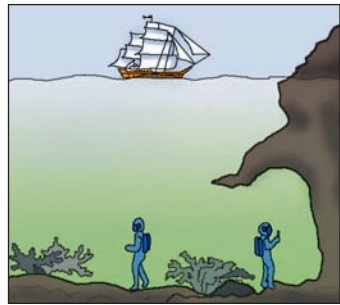


Рис. 27.4. На одному рівні тиск води в печері дорівнює тиску води у відкритому морі

* Рівнем називають будь-яку горизонтальну поверхню.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За визначенням тиску: $p = \frac{F_{\text{тиску}}}{S} \Rightarrow F_{\text{тиску}} = pS$.

Тут $p = \rho gh$ — гідростатичний тиск води, $S = \pi r^2$ — площа круга. Підставивши вирази для p і S у формулу для $F_{\text{тиску}}$, отримаємо:

$$F_{\text{тиску}} = \rho gh \cdot \pi r^2.$$

Оскільки $F = F_{\text{тиску}}$, то остаточно маємо: $F = \rho gh \cdot \pi r^2$.

Перевіримо одиницю шуканої величини: $[F] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \text{Н}$.

Обчислимо значення шуканої величини:

$$F = 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (0,05)^2 = 157 \text{ (Н)};$$

Відповідь: до пробки слід прикласти силу, не меншу за 157 Н.



Підбиваємо підсумки

Унаслідок притягання до Землі рідина створює тиск на дно та стінки посудини, а також на будь-яке тіло, занурене в рідину. Тиск p нерухокої рідини називається гідростатичним тиском і залежить тільки від густини ρ рідини та висоти h стовпчика рідини. Гідростатичний тиск обчислюється за формулою $p = \rho gh$.

Тиск усередині нерухокої однорідної рідини на одному рівні є однаковим.



Контрольні запитання

1. Що спричиняє виникнення тиску рідини на дно посудини? **2.** За якою формулою обчислюють гідростатичний тиск рідини? **3.** Як змінюється тиск у рідині залежно від висоти стовпчика рідини? від густини рідини? **4.** Опишіть дослід Б. Паскаля, за допомогою якого він продемонстрував залежність гідростатичного тиску певної рідини тільки від висоти її стовпчика. **5.** Чому тиск усередині нерухокої однорідної рідини на одному рівні є однаковим?



Вправа № 27

- Тиск води на дно посудини в точці А дорівнює 200 Па (рис. 1). Який тиск на дно створює вода в точках В, С?
- Деякі любителі фрідайвінгу можуть занурюватися на глибину 100 м. Визначте, який найбільший гідростатичний тиск діє на пірнальників під час такого занурення.
- Якщо занурити палець у склянку з водою, не торкаючись дна склянки, чи зміниться сила тиску води на дно склянки? Якщо зміниться, то як?
- На якій глибині тиск у мастилі становить 8 кПа?
- У дві посудини налили до одного рівня однакову рідину (рис. 2). Порівняйте тиски та сили тисків на дно посудин. Зробіть висновок.

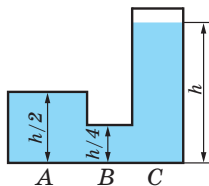


Рис. 1

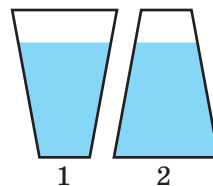


Рис. 2

6. Складіть задачу, обернену до задачі, розглянутої в параграфі, та розв'яжіть її.
7. Наталка мешкає в триповерховому будинку на останньому поверсі. Чи вдасться їй прийняти душ, якщо насос, який стоїть на підлозі першого поверху, подає воду під тиском 80 кПа, висота одного поверху 3 м, а лійка душу розташована на висоті 1,5 м від підлоги?
8. Якою є маса дослідника (див. рис. 27.1), якщо площа дотику подушки і дошки, на якій він стоїть, дорівнює 800 см^2 , а вода в трубці встановилася на висоті 1 м? Що треба зробити дослідникові, щоб, не нахилиючи трубку, вигнати майже всю воду назовні?
9. Визначте силу, яка тисне на дно бочки в досліді Паскаля, якщо висота води в трубці 4 м (балкон другого поверху), діаметр бочки 0,8 м, висота бочки 0,8 м. Визначте масу тіла, яке тиснутиме на дно бочки саме з такою силою, якщо площа дотику тіла і дна дорівнює площі дна.
10. Скориставшись Інтернетом або додатковою літературою, дізнайтесь, на яку глибину занурюються аквалангісти та водолази, опускаються батисфери, підводні човни й батискафи. Розрахуйте гідростатичний тиск на цій глибині та підготуйте презентацію.

§ 28. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК І ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ. БАРОМЕТРИ

Коли ми робимо, наприклад, ковток чаю, навряд чи розмірковуємо над фізикою цього процесу. Проте він, так само як і багато інших процесів, відбувається завдяки тиску повітря навколо нас — атмосферному тиску. Відкриємо для себе деякі важливі властивості цього тиску та навчимося його вимірювати.

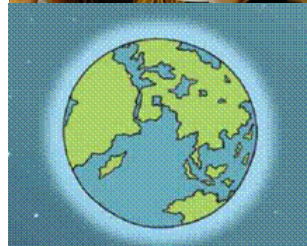


Рис. 28.1. Атмосфера починається біля поверхні Землі й простягається в космічний простір приблизно на 3000 км

1 Згадуємо відомості про атмосферу

Ви добре знаєте, що наша планета Земля оточена повітряною оболонкою. Цю повітряну оболонку Землі називають *атмосферою* (у перекладі з грецької — «пара» і «сфера») (рис. 28.1).

Чому ж існує повітряна оболонка Землі?

По-перше, повітря, як і будь-які інші речовини, складається з молекул і атомів. Молекули й атоми мають масу, тому вони притягуються до Землі завдяки гравітаційній взаємодії.

По-друге, молекули газів, що складають атмосферу, перебувають у неперервному русі. Через це вони не падають на Землю, а «носяться» в просторі біля Землі.

2 Доводимо існування атмосферного тиску

За підрахунками Паскаля, атмосфера Землі важить близько $5 \cdot 10^{18}$ кг. Під дією сили тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари, тому повітряний шар навколо поверхні Землі стиснутий найбільше і, відповідно до закону Паскаля, створює тиск на поверхню Землі й на всі тіла поблизу неї. Це і є *атмосферний тиск* ($p_{\text{атм}}$).

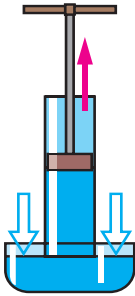


Рис. 28.2. Рідина піднімається за поршнем, тому що на вільну поверхню рідини в посудині тисне атмосфера

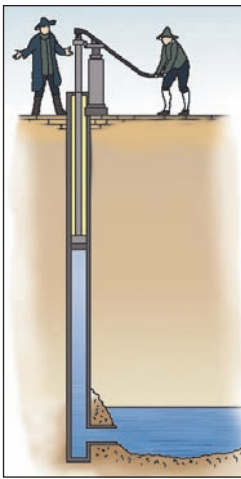


Рис. 28.3. У 1638 році не вдалося прикрасити сади Флоренції фонтанами, оскільки вода не піднімається вище за 10,3 м

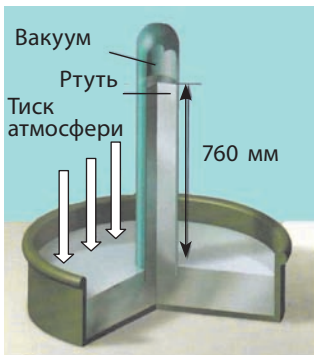


Рис. 28.4. Трубка Торрічеллі: висота h стовпчика ртуті в трубці завжди становить близько 760 мм

Атмосферний тиск зумовлює існування всмоктування — підняття рідини за поршнем (у насосах, шприцах, авторучках тощо) (рис. 28.2). Якщо піднімати поршень, то атмосферний тиск, діючи на вільну поверхню рідини в посудині, нагнітатиме рідину вгору, в порожнечу під поршнем. Іззовні все має такий вигляд, наче рідина піднімається за поршнем сама по собі.

До речі, протягом тривалого часу підняття рідини за поршнем, що рухається вгору, залишалось одним із доказів відомого принципу, автором якого був *Аристотель*, що «природа боїться порожнечі». Проте в середині XVII ст. в ході спорудження фонтанів у Флоренції зіткнулися з незрозумілим — виявилось, що вода, яку всмоктують насоси, не піднімається вище за 10,3 м (рис. 28.3). *Галілео Галілей* запропонував розібратися в цьому своїм учням — *Еванджелісті Торрічеллі* (1608–1647) та *Вінченцо Вівіані* (1622–1703). Розв'язуючи цю проблему, Торрічеллі вперше довів існування атмосферного тиску. Згадаймо дослід Торрічеллі, у ході якого він виміряв атмосферний тиск.

3 Вимірюємо атмосферний тиск

Щоб загадкова межа підняття рідини була значно меншою за 10,3 м, Торрічеллі здогадався замінити воду рідиною зі значно більшою густиною. Складну трубку завдовжки близько метра, запаяну з одного кінця, Е. Торрічеллі наповнив доверху ртуттю. Потім, щільно закривши отвір, перевернув трубку, опустив її в чашу з ртуттю і відкрив отвір — частина рідини з трубки вилілася в чашу. У трубці залишився стовп ртуті приблизно 760 мм заввишки, а над ртуттю утворилася порожнина (рис. 28.4).

Провівши численні досліди, Торрічеллі встановив: висота стовпа ртуті, що залишається в трубці, не залежить ані від довжини трубки, ані від її ширини. Висота трохи змінювалася тільки залежно від погоди.

Торрічеллі зумів також знайти відповідь на те, чим визначається саме така висота стовпа ртуті.

Однорідна рідина в трубці та чашці не рухається, і це означає, що, згідно із законом Паскаля, *тиск на поверхню ртуті з боку атмосфери і гідростатичний тиск стовпчика ртуті в трубці є однаковими*. Тобто тиск стовпчика ртуті висотою 760 мм дорівнює атмосферному.

Тиск, який створюється стовпчиком ртуті висотою 760 мм, називають **нормальним атмосферним тиском**:

$$p_{\text{атм н}} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

У цьому випадку за одиницю атмосферного тиску прийнято один міліметр ртутного стовпа (1 мм рт. ст.).

Подамо нормальний атмосферний тиск в одиницях СІ — паскалях. З попереднього параграфу ви вже знаєте, що гідростатичний тиск обчислюють за формулою:

$$p = \rho gh.$$

Ураховуючи, що густина ртуті становить $\rho_{\text{рт}} = 13\,600 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$, а висота стовпчика ртуті $h = 0,76 \text{ м}$, маємо:

$$\begin{aligned} p_{\text{атм н}} &= \rho_{\text{рт}} gh = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,76 \text{ м} = \\ &= 101\,325 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 101\,325 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

У фізиці й техніці також використовують *позасистемну одиницю атмосферного тиску* — **фізичну атмосферу** (1 атм).

Одна фізична атмосфера дорівнює нормальному атмосферному тиску на висоті рівня моря: $1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа}$.

4 Вивчаємо конструкцію барометра-анероїда

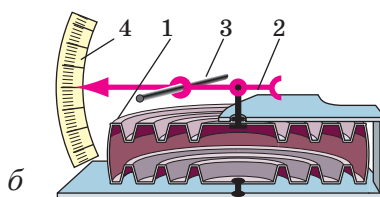
Якщо вдосконалити трубку Торрічеллі, приєднавши до неї вертикальну шкалу (лінійку), то отримаємо найпростіший *барометр*.

Барометр — прилад для вимірювання атмосферного тиску.

Барометр Торрічеллі є доволі точним приладом, але великий розмір, отруйні пари ртуті та скляна трубка роблять його незручним для повсякденного використання. Тому сьогодні частіше застосовують так звані **барометри-анероїди** — *прилади для вимірювання атмосферного тиску, що діють без допомоги рідини* (рис. 28.5).



а



б

Рис. 28.5. Барометр-анероїд: а — зовнішній вигляд; б — будова

Головна частина барометра-анероїда — легка й пружна порожня металева коробочка 1 з гофрованою (ребристою) поверхнею. Повітря в коробці практично немає. До стінки коробочки прикріплена стрілка 2, насаджена на вісь 3. Кінець стрілки пересувається по шкалі 4, розміченій у міліметрах ртутного стовпа або паскалях. Усі деталі барометра поміщені всередину корпусу, спереду закритого склом.

Зміна атмосферного тиску приводить до зміни сили, що стискає стінки коробочки. Отже, змінюватиметься й вигин стінок. Вигин стінок коробочки передається стрілці й спричиняє її рух.

Барометри-анероїди зручніші у використанні, ніж ртутні прилади: вони легкі, компактні та безпечні.

5 Виявляємо залежність атмосферного тиску від погоди та висоти

Спостерігаючи за барометром, можна легко виявити, що його покази змінюються в разі зміни погоди. Зазвичай атмосферний тиск перед негодою падає, а перед сонячною погодою зростає.



Рис. 28.6. Альтиметр на руці парашутиста

Проте покази барометра залежать не тільки від погоди, а й від висоти місця спостереження над рівнем моря. Чим вище вгору, тим меншим є атмосферний тиск. Поблизу поверхні Землі через кожні 11 м висоти тиск меншає приблизно на 1 мм рт. ст.

Завдяки тому що атмосферний тиск залежить від висоти, барометр можна проградувати так, щоб за тиском повітря визначати висоту. Так було винайдено **альтиметр** — *прилад для вимірювання висоти* (рис. 28.6).



Підбиваємо підсумки

Повітря має масу. Через притягання Землі верхні шари повітряної оболонки Землі — атмосфери — тиснуть на нижні. Тиск повітря на поверхню Землі і на всі тіла поблизу неї називають атмосферним тиском.

Точне вимірювання атмосферного тиску забезпечує ртутний барометр (барометр Торрічеллі).

Тиск стовпа ртуті висотою 760 мм ($101\,325\text{ Па} \approx 100\text{ кПа}$) — це нормальний атмосферний тиск.

На практиці користуються барометрами-анероїдами завдяки їхній зручності, невеликим розмірам і безпечності. За допомогою барометрів можна прогнозувати зміну погоди та визначати висоту: атмосферний тиск зменшується перед негодою, а також із висотою.



Контрольні запитання

1. Що таке атмосфера і чому вона існує?
2. Чому існує атмосферний тиск?
3. Які факти свідчать про існування атмосферного тиску?
4. Опишіть будову та принцип дії ртутного барометра.
5. У яких одиницях вимірюють атмосферний тиск?
6. Дайте визначення нормального атмосферного тиску. Подайте нормальний атмосферний тиск у паскалях.
7. Опишіть конструкцію та принцип дії барометра.
8. Які переваги барометрів-анероїдів зумовили їх широке використання?
9. Чому за допомогою барометрів можна передбачати погоду та вимірювати висоту?



Вправа № 28

1. Чи діє на рибок в акваріумі атмосферний тиск? Чому?
2. Чому вода піднімається, якщо її втягувати через соломинку?
3. Подайте тиск 1 мм рт. ст. у паскалях.
4. Подайте тиск 550 мм рт. ст. у кілопаскалях, а тиск 93 324 Па — у міліметрах ртутного стовпа.
5. Поясніть, чому зі збільшенням висоти над рівнем моря атмосферний тиск зменшується.
6. Чому неможливо розрахувати атмосферний тиск за формулою $p = \rho gh$, де ρ — густина повітря, а h — висота атмосфери?
7. На якій висоті розташований оглядовий майданчик телевізійної вежі, якщо атмосферний тиск біля підніжжя вежі становить 760 мм рт. ст., а на висоті майданчика — 740 мм рт. ст.?
8. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою і знайдіть інформацію про роль атмосферного тиску в житті людини й тварин. Підготуйте презентацію та зробіть коротке повідомлення.
9. Згадайте, чому рідини та гази створюють тиск. У чому особливості цього тиску?



Експериментальні завдання

1. Знайдіть у додатковій літературі або Інтернеті описи цікавих дослідів, що доводять існування атмосферного тиску. Виконайте деякі з них та зробіть фотозвіт.
2. «Пастка для руки». Надіньте на трилітрову скляну банку гумову рукавичку, як показано на рис. 1. Загерметизуйте місце з'єднання рукавички і банки скотчем, а потім всуньте руку в рукавичку (рис. 2). Тепер спробуйте витягти руку. Що заважає це зробити? Чи стане легше витягти руку, якщо рукавичку проколоти? Чому?

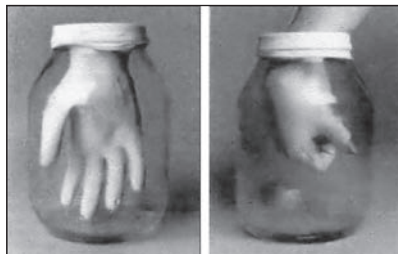


Рис. 1

Рис. 2



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

Фізика і техніка в Україні



Степан Прокопович Тимошенко (1878–1972) — відомий науковець у галузі механіки, один з організаторів і перших академіків Української академії наук, засновник Інституту механіки АН України, школи прикладної механіки в США.

Основні напрями наукової роботи С. П. Тимошенка — фундаментальні праці з опору матеріалів, теорії пружності, теорії коливань механічних систем, теорії споруд і будівельної механіки. Особливо великий внесок учений зробив у розвиток прикладної теорії пружності, теорії стійкості пружних, оболонкових і пластинчастих систем. Саме С. П. Тимошенко розробив загальний енергетичний метод розрахунку стійкості механічних систем, широко відомий як метод Тимошенка.

§ 29. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ. МАНОМЕТРИ

Щоранку, прокидаючись, ми поспішаємо вмитись. А чи знаєте ви, чому з крана біжить вода, коли ми його відкриваємо? А чому виливається вода з носика чайника, якщо його нахилити? А як «працює» артезіанський колодязь?

Напевне, дехто з вас уже знає, що всі ці пристрої є сполученими посудинами. Саме про сполучені посудини, їхні властивості та застосування йтиметься в цьому параграфі.

1

Виготовляємо та досліджуємо сполучені посудини

Сполучені посудини — це посудини, з'єднані між собою в нижній частині так, що між ними може перетікати рідина

Найпростіші сполучені посудини — це дві з'єднані між собою трубки. Якщо в одну з трубок наливати воду, то вода перетікатиме в другу трубку. Після того як рух води припиниться, вода в обох трубках (обох колінах сполучених посудин) установиться на одному рівні (рис. 29.1, а). Якщо нахилити або піднімати одне з колін, то вода перетікатиме з коліна, розташованого вище, доти, доки рівні води в обох колінах знову не зрівняються (рис. 29.1, б).

У цьому досліді ми виявили *основну властивість сполучених посудин*:

У відкритих сполучених посудинах вільні поверхні однорідної нерухомої рідини встановлюються на одному рівні

Зверніть увагу! Вільні поверхні рідини встановлюються на одному рівні не лише у двох, але у й будь-якій кількості сполучених посудин, незалежно від того, яку форму вони мають і як розташовані в просторі (рис. 29.2).

А от якщо в праве і ліве коліна сполучених посудин налити рідини з різними густинами, наприклад гас і воду, результат буде інакшим (рис. 29.3). Дійсно, на рівні CD тиск стовпчиків рідин у посудинах однаковий:

$$p_C = p_D, \text{ або } \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

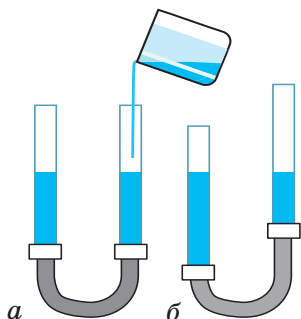


Рис. 29.1. У відкритих сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні

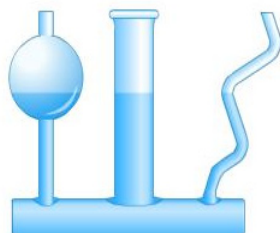


Рис. 29.2. Незалежно від форми рівні рідини у відкритих сполучених посудинах є однаковими

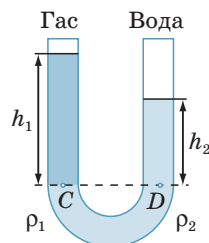


Рис. 29.3. У відкритих сполучених посудинах рівень рідини меншої густини встановлюється на більшій висоті

Звідси маємо *другу властивість сполучених посудин*:

У відкритих сполучених посудинах стовпчик нерухокої рідини з меншою густиною буде вищим, ніж стовпчик нерухокої рідини з більшою густиною. Відношення висот стовпчиків рідин обернено пропорційне до відношення їхніх густин:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

Сполучені посудини широко застосовуються в побуті (рис. 29.4), медицині, техніці, будівництві. Шлюзи на каналах і річках, водогін, водомірні трубки на парових котлах, артезіанські колодязі, фонтани, чайники, лійки, крапельниці — все це приклади сполучених посудин. Виконуючи вправу 29, ви зможете пояснити принцип дії багатьох із цих пристроїв.

2 Виготовляємо відкритий рідинний манометр

На праве коліно U-подібної трубки, в яку налито однорідну рідину, надінемо гумову грушу і злегка натиснемо на неї. Висота стовпчика рідини в правому коліні зменшиться, а в лівому збільшиться (рис. 29.5). На рівні *AB* тиск у рідині однаковий. У точці *B* це буде тиск повітря $p_{\text{п}}$ над правим коліном трубки, у точці *A* — атмосферний тиск $p_{\text{атм}}$ плюс гідростатичний тиск стовпчика рідини висотою h . Отже,

$$p_{\text{п}} = p_{\text{атм}} + \rho gh.$$

Тобто за допомогою U-подібної трубки, заповненої однорідною рідиною, та лінійки, що дозволяє виміряти різницю рівнів рідини в колінах трубки, можна визначити різницю між тиском повітря (або іншого газу) в посудині й атмосферним тиском:

$$p_{\text{п}} - p_{\text{атм}} = \rho gh.$$

Відповідний прилад має назву *відкритий рідинний манометр*.

Манометр — це прилад для вимірювання тиску газів і рідин.

Відкритий рідинний манометр складається з лінійки 1, до якої приєднана U-подібна трубка 2.

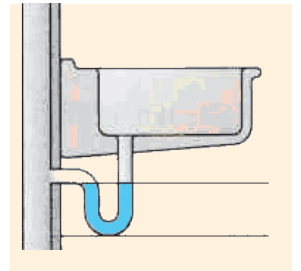
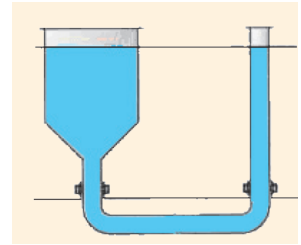
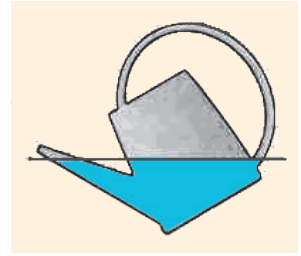


Рис. 29.4. Застосування сполучених посудин у побуті

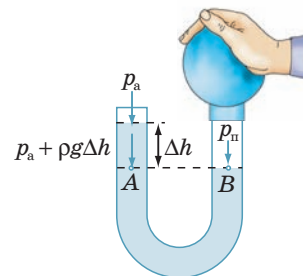


Рис. 29.5. Різниця атмосферного тиску $p_{\text{атм}}$ і тиску повітря $p_{\text{п}}$ компенсується тиском стовпчика рідини висотою h

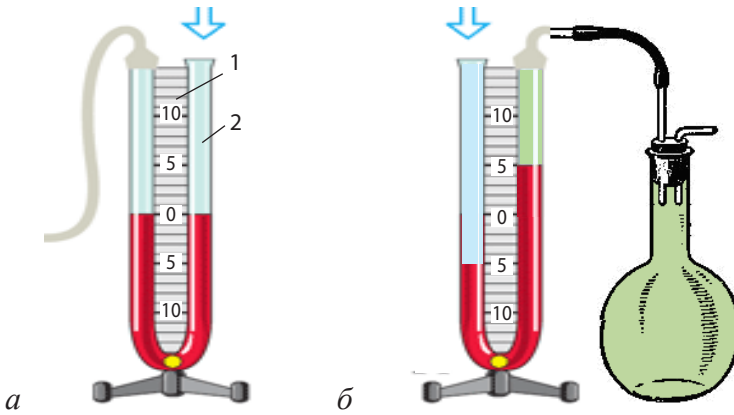


Рис. 29.6. U-подібна трубка, що наповнена рідиною і має шкалу, — відкритий рідинний манометр

Трубка заповнена підфарбованою рідиною так, що її рівень розташований на позначці 0 (рис. 29.6, а).

Під час вимірювань одне коліно трубки сполучається з атмосферою, а друге за допомогою шланга 3 — з посудиною, тиск газу в якій необхідно виміряти (рис. 29.6, б).

З різниці рівнів рідини можна дізнатися, на скільки тиск газу в посудині менший або більший за атмосферний. Наприклад, на рис. 29.6, б різниця рівнів води у сполучених посудинах становить 10 см ($h = 0,1$ м). Це означає, що тиск газу в посудині менший від атмосферного на 980 Па:

$$\rho gh = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м} = 980 \text{ Па}.$$

3 Замінюємо рідинний манометр на металевий

Рідинний манометр не завжди є зручним у використанні: його необхідно готувати до вимірювань — наливати рідину до потрібного рівня та проводити додаткові обчислення. Тому в техніці використовують металеві деформаційні манометри (рис. 29.7).

Основний елемент металевого деформаційного манометра — гнучка дугоподібна трубка 1, один кінець якої є запаєним. Другий кінець трубки сполучають з резервуаром, де вимірюють тиск. Принцип дії цих манометрів такий. Якщо тиск газу всередині трубки більший від атмосферного, то гнучка трубка розпрямляється і її рух передається до стрілки 3, що руха-

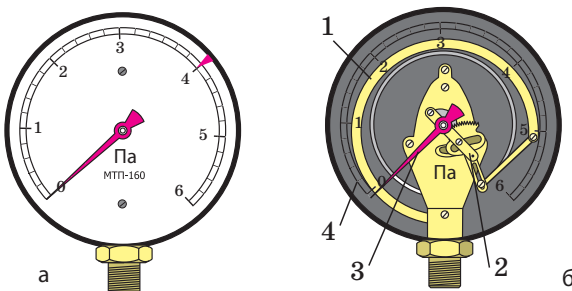


Рис. 29.7. Металевий деформаційний манометр: а — загальний вигляд; б — конструкція: трубку 1 за допомогою передавального механізму 2 з'єднано зі стрілкою 3. Тиск визначають за шкалою 4

ється вздовж шкали 4 приладу. Після зменшення тиску газу до атмосферного трубка повертається в початкове (недеформоване) положення, а стрілка зупиняється на позначці 0.

Шкала металевого манометра проградуїрована в паскалях або атмосферах.

Зверніть увагу. Манометр завжди показує, на скільки вимірюваний тиск більший або менший за атмосферний.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. У праве коліно відкритої U-подібної трубки, у яку попередньо налито воду, наливають шар гасу висотою 12,5 см (див. рисунок). Якою буде різниця рівнів води і гасу в правому і лівому колінах U-подібної трубки, коли рух рідин припиниться? Гас і вода не змішуються.

Дано:

$$h_{\text{гасу}} = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$$

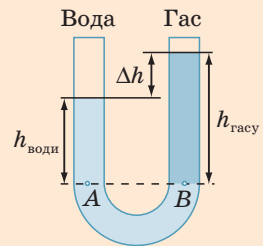
$$\rho_{\text{води}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{гасу}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Δh — ?

Аналіз фізичної проблеми.

В однорідній рідині тиск на одному горизонтальному рівні є однаковим. На рівні AB в обох колінах міститься вода, тому на цьому рівні тиски, створені атмосферою і рідинами, однакові. Для визначення гідростатичних тисків рідин нам необхідно знати їхні густини. Густина води та гасу дістанемо з таблиці. Задачу будемо розв'язувати в одиницях СІ.



Пошук математичної моделі, розв'язання.

Різниця висот стовпчиків гасу і води $\Delta h = h_{\text{гасу}} - h_{\text{води}}$. Отже, потрібно знайти висоту стовпчика води.

Знайдемо тиск у точках A і B :

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho_{\text{води}} g h_{\text{води}}; \quad p_B = p_{\text{атм}} + \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}.$$

Оскільки $p_A = p_B$, то маємо: $p_{\text{атм}} + \rho_{\text{води}} g h_{\text{води}} = p_{\text{атм}} + \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}$, або $\rho_{\text{води}} g h_{\text{води}} = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}$. Звідси знайдемо висоту стовпчика води:

$$h_{\text{води}} = \frac{\rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}} g} = \frac{\rho_{\text{гасу}} h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}}}.$$

$$\text{Перевіримо одиницю шуканої величини: } [h_{\text{води}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}.$$

Обчислимо значення шуканої величини:

$$h_{\text{води}} = \frac{800 \cdot 0,125}{1000} = 0,1 \text{ (м)}; \quad \Delta h = 12,5 \text{ см} - 10 \text{ см} = 2,5 \text{ см}.$$

Відповідь: різниця рівнів води і гасу в правому і лівому колінах трубки становить 2,5 см.



Підбиваємо підсумки

Сполученими посудинами називають посудини, з'єднані між собою так, що між ними може перетікати рідина.

У відкритих сполучених посудинах різних форм та розмірів однорідна нерухома рідина встановлюється на одному рівні; якщо густини рідин різні, то стовпчик рідини з меншою густиною є вищим, ніж стовпчик рідини з більшою густиною.

Манометри — це прилади для вимірювання тиску рідин та газів. У відкритому рідинному манометрі тиск газу p_{Γ} у посудині визначається за різницею h рівнів рідини в колінах приладу: $p_{\Gamma} = p_{\text{атм}} \pm \rho gh$, де $p_{\text{атм}}$ — атмосферний тиск.

На практиці широко застосовують металеві деформаційні манометри.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади сполучених посудин. **2.** Сформулюйте основну властивість сполучених посудин. **3.** Як поведуться рідини різної густини, наліті в сполучені посудини? **4.** Що таке манометр? **5.** Як працює відкритий рідинний манометр? **6.** Опишіть будову та принцип дії металевого деформаційного манометра.



Вправа № 29

- У рідинному манометрі міститься підфарбована вода (рис. 1). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. На скільки відрізняється тиск у посудині від атмосферного?
- У деяких храмах Стародавньої Греції була так звана «невичерпна чаша». Скориставшись рис. 2, поясніть, як працювало це «диво».
- У рідинному манометрі міститься ртуть (рис. 3). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. Який тиск у посудині, якщо тиск атмосферного повітря дорівнює 100 кПа?
- Скориставшись рис. 4, поясніть, як працює напувалка для собак.
- Складіть задачу, обернену до задачі, розглянутої в параграфі, та розв'яжіть її.
- Яким є тиск газу в посудині В (рис. 5), якщо тиск газу в посудині А дорівнює 100 гПа?

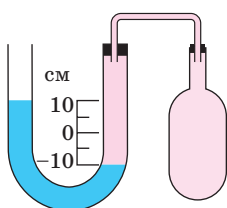


Рис. 1

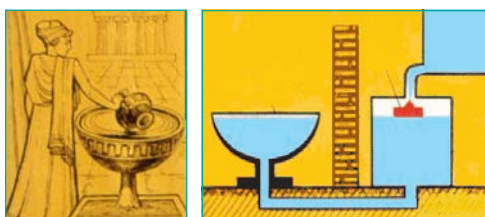


Рис. 2

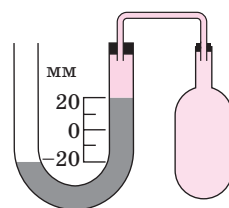


Рис. 3



Рис. 4

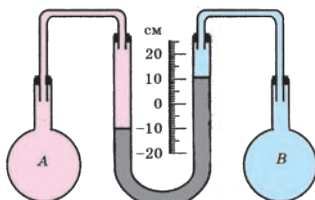


Рис. 5

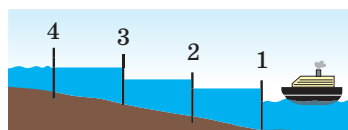


Рис. 6

7. Скориставшись додатковою літературою або Інтернетом, дізнайтеся про принцип роботи шлюзу. Уявіть, що ви оператор шлюзової камери (рис. 6), і складіть систему команд для переведення судна з нижньої течії у верхню. У командах дозволяється використовувати слова: відчинити, зачинити, клапан 1, клапан 2, ворота 1, ворота 2.
9. Заповніть порожні місця в таблиці.

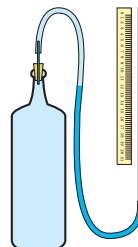


Фізичні величини			Формула для розрахунку шуканої величини
Тиск	Площа	Сила тиску	
100 кПа	50 см ²		
	12 м ²	600 кН	
1,7 кПа	?	3,4 Н	



Експериментальне завдання

«Манометр власноруч». Скориставшись прозорою еластичною трубкою та лінійкою, виготовте манометр, який вимірюватиме різницю тисків в атмосфері і пляшці (див. рисунок). Простежте зміну різниці тисків протягом тижня; зробіть висновок.



Фізика і техніка в Україні



У 1930-х рр. символом індустріалізації став **Дніпрогес**. Завершення будівництва цієї найбільшої на той час гідроелектростанції забезпечило енергією кілька заводів-гігантів, принесло електричне світло в тисячі будинків Запоріжжя, Кривого Рогу та інших міст України. Після того як дамба заввишки понад 50 м перегородила Дніпро, глибина річки значно збільшилася. Це забезпечило судноплавство в тій частині Дніпра, де були пороги. А щоб судна могли пливти й далі, до Чорного моря, у конструкції греблі інженери передбачили спеціальний вузол — шлюз.

Шлюз являє собою систему послідовно розташованих «кімнат», які називають камерами. У кожній камері з двох боків є «двері», але немає «даха». Розміри камер величезні — кожна з них здатна вмістити водночас кілька теплоходів. Працює шлюз так. Судно входить у першу камеру, її зовнішні двері за ним зачиняються, і відбувається вирівнювання рівня води з другою камерою через систему сполучених труб (за принципом сполучених посудин). Потім відчиняються двері між першою і другою камерами — судно переходить у другу камеру і т. д.

§ 30. ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ. НАСОСИ

Чи може людина підняти слона, маючи тільки з'єднані між собою циліндри з поршнями та невелику кількість рідини? На перший погляд — ні. Але автолюбители за допомогою невеликого пристрою — гідравлічного домкрата — піднімають свій автомобіль для заміни колеса або для ремонту, а на заводах працюють гідравлічні преси, які штампують деталі машин із металевих заготовок. Як можна, прикладаючи меншу силу, отримувати більшу, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Використовуємо гідравлічний прес для отримання виграшу в силі

Як ви вже добре знаєте, тиск, створюваний на поверхню нерухомої рідини, передається рідиною однаково в усіх напрямках (закон Паскаля). Цю властивість рідин широко використовують у *гідравлічних машинах*. Розгляньмо принцип дії деяких із них на прикладі *гідравлічного преса*, який застосовують для пресування фанери та картону, для віджимання олії, для виготовлення деталей машин і механізмів тощо.

Гідравлічний прес — це найпростіша гідравлічна машина, яка використовується для створення великих сил стиснення.

Гідравлічний прес (рис. 30.1) складається з двох сполучених циліндрів різного діаметра, які заповнені робочою рідиною (частіше машинним мастилом) і закриті рухомими поршнями.

Якщо до поршня меншого циліндра прикласти силу \vec{F}_1 (рис. 30.1, б), то ця сила створить на поверхню рідини певний додатковий тиск p :

$$p = \frac{F_1}{S_1},$$

де S_1 — площа меншого поршня.

Відповідно до закону Паскаля, цей тиск передаватиметься в усі точки рідини, що заповнює сполучені циліндри. Отже, рідина почне тиснути на поршень більшого циліндра з певною силою \vec{F}_2 :

$$F_2 = pS_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1},$$

де S_2 — площа більшого поршня.

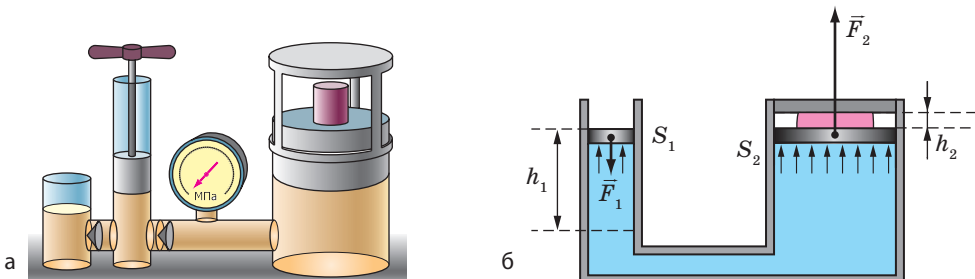


Рис. 30.1. Гідравлічний прес дає можливість отримати виграш у силі: діючи на малий поршень із площею S_1 меншою силою F_1 , маємо змогу стискати (пресувати) тіло, розташоване над поршнем із площею S_2 , більшою силою F_2

Сила, що діє з боку рідини на великий поршень, є більшою від сили, що діє на малий поршень, у стільки разів, у скільки разів площа великого поршня більша від площі малого:

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

Відношення $\frac{F_2}{F_1}$ — це *виграш у силі*.

Гідравлічний прес дозволяє одержати значний виграш у силі, який залежить від відношення площ поршнів: *чим більше різнитимуться між собою площі поршнів, тим більший виграш у силі матимемо*.

За таким принципом працюють і інші гідравлічні інструменти та пристрої. Так, гідравлічний підйомник дозволяє, приклавши невелику силу, підняти важкий автомобіль (рис. 30.2).

Спробуйте, скориставшись рис. 30.2, самостійно розібратися, як працює такий підйомник.

2 Використовуємо насоси для відкачування води

Найпершими гідравлічними машинами, які застосовували ще в стародавні часи, були *всмоктувальні* та *нагнітальні* поршневі насоси.

У *всмоктувальному насосі* (рис. 30.3) внаслідок підняття поршня тиск у резервуарі під поршнем зменшується і клапан *a* відкривається. Через цей відкритий клапан вода під впливом атмосферного тиску p_a піднімається в резервуар під поршнем. Коли поршень почне рухатися вниз, клапан *a* закриється, а клапан *b* відкриється, і вода вилитиметься через кран насоса. У разі дальшого руху поршня вгору все повторюється. Максимальна висота, на яку можна підняти воду за допомогою всмоктувального насоса, визначається атмосферним тиском і становить 10,3 м (пригадайте чому).

У *нагнітальному насосі* (рис. 30.4) під час руху поршня вгору тиск над поверхнею рідини над клапаном *a* і під клапаном *b* зменшується. Унаслідок цього клапан *a*

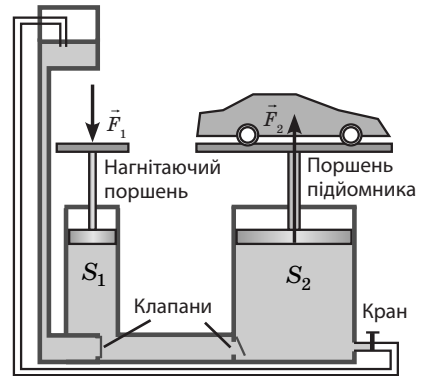


Рис. 30.2. Гідравлічний підйомник — приклад гідравлічної машини

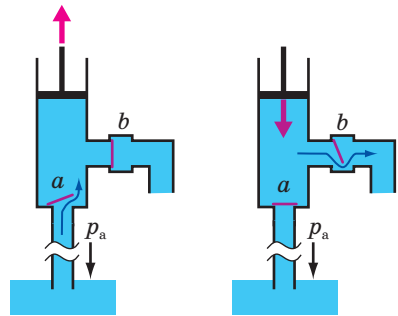


Рис. 30.3. Принцип дії всмоктувального насоса: вода піднімається за поршнем унаслідок дії сили атмосферного тиску

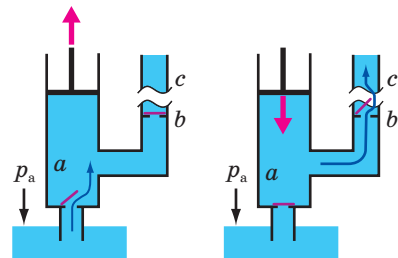


Рис. 30.4. У нагнітальному насосі всмоктування води під час кожного зворотного руху поршня змінюється нагнітанням води в трубу водогону

відкривається, а клапан b — закривається. Під дією сили атмосферного тиску p_a вода піднімається за поршнем через відкритий клапан a . Потім, коли поршень почне рухатися вниз, через збільшення тиску під поршнем клапан a закриється, а клапан b відкриється. Поршень витисне через клапан b воду у вертикальну трубу c . Під час наступного руху поршня вгору клапан b буде закритий і вода з вертикальної труби c не потраплятиме назад у насос.



Підбиваємо підсумки

Властивість рідини передавати тиск, створюваний на її поверхню, однаково в усіх напрямках покладена в основу дії гідравлічних машин і насосів.

Сила, що діє з боку рідини на великий поршень гідравлічної машини, є більшою від сили, що діє на малий поршень, у стільки разів, у скільки разів площа великого поршня більша від площі малого: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Насоси бувають всмоктувальні та нагнітальні. Неодмінними деталями насосів є поршень, циліндр та клапани, що пропускають рідину тільки в одному напрямку.



Контрольні запитання

1. На якому законі ґрунтується дія гідравлічної машини?
2. Що таке гідравлічний прес і де його застосовують?
3. Сформулюйте умову рівноваги поршнів гідравлічної машини.
4. Де застосовують насоси?
5. Які види поршневих насосів ви знаєте?
6. Чим визначається висота підняття рідини у всмоктувальному насосі?



Вправа № 30

1. На рис. 1 зображено схему поршневого насоса. Який це насос: всмоктувальний чи нагнітальний? У якому положенні (відкритому чи закритому) будуть клапани під час руху поршня вниз?
2. Куди рухається поршень насоса (рис. 2): вгору чи вниз?
3. Яке зусилля розвиває гідравлічний прес, якщо до малого поршня прикладають силу 100 Н? Площі поршнів дорівнюють 2 см^2 і 12 см^2 .
4. На більший поршень гідравлічної машини діє сила 4 кН. Яка сила діє на менший поршень, якщо площі поршнів дорівнюють відповідно 400 і 10 см^2 ?
5. Щоб за допомогою гідравлічної машини підняти контейнер вагою 3 кН, до малого поршня прикладають силу 200 Н. Чому дорівнює площа великого поршня, якщо площа малого становить 4 см^2 ?
6. Площа малого поршня гідравлічної машини 15 см^2 , великого — 3 дм^2 . Визначте масу вантажу, який можна підняти за допомогою цієї машини, приклавши до малого поршня силу 200 Н.
7. Малий поршень гідравлічної машини опустився під дією сили 300 Н на 4 см, а великий піднявся на 1 см. Яка сила діяла на великий поршень?

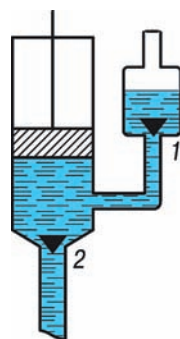


Рис. 1

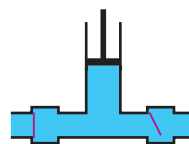


Рис. 2

8. Перед вами рисунок моделі гідравлічного преса (рис. 3). Користуючись даними, наведеними на рисунку, визначте:

- напрямок руху поршня;
- силу, яка діє на великий поршень, якщо на малий поршень діють із силою 100 Н;
- виграш у силі, що дозволяє одержати цей прес;
- висоту, на яку підніметься великий поршень, якщо малий опустити на 10 см.

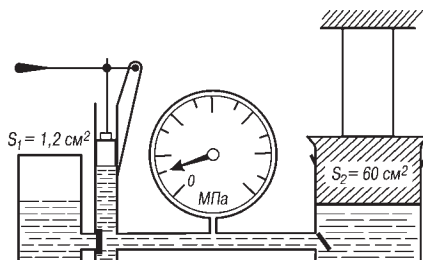


Рис. 3

9. Skorиставivshis'я dodatkovou literaturoyu abo Internetom, diznaites'ya pro deyak gidravlichni pristroi, ne rozglyanuti v paragrafi (napriklad gidravlitchna sistema gальмування автомобіля, гідравлічні ножиці, різноманітні насоси). Як вони працюють і де їх застосовують? Оформте повідомлення про один із пристроїв.



10. Визначте осадку корабля, що дістав пробоїну в дні, якщо матрос, маса якого 80 кг, зміг перекрити доступ води, накривши отвір пластиною площею 200 см² і ставши на неї. Маса пластини не враховуйте.

Фізика і техніка в Україні



Харківський національний університет (ХНУ) імені В. Н. Каразіна, заснований у листопаді 1804 р.,— один із найстаріших університетів Східної Європи. Історія ХНУ є невід'ємною частиною інтелектуальної, культурної та духовної історії України.

З Харківським університетом пов'язані імена таких усесвітньовідомих науковців та просвітителів, як П. П. Гулак-Артемівський, О. М. Ляпунов,

М. І. Костомаров, М. П. Барабашов, М. М. Бекетов, Д. І. Багалій, А. М. Краснов, М. В. Остроградський, В. А. Стеклов, О. О. Потебня, О. В. Погорелов та багато інших. Харківський університет — єдиний в Україні, де навчались або працювали три лауреати Нобелівської премії — біолог І. І. Мечников, економіст Саймон Кузнець, фізик Л. Д. Ландау.

§ 31. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА

Чому м'яч, який занурили у воду й відпустили, вискакує над поверхнею води? Чому важкий камінь, який на суходолі не можна зрушити з місця, легко підняти під водою? Чи правда, що людина у воді перебуває в стані невагомості? Спробуймо розібратися!

1

Доводимо існування виштовхувальної сили

Підвісимо до коромисла терезів дві однакові кулі. Оскільки маси куль є рівними, терези будуть зрівноважені (рис. 31.1, а). Підставимо під праву кулю порожню посудину (рис. 31.1, б). Наллємо в посудину воду

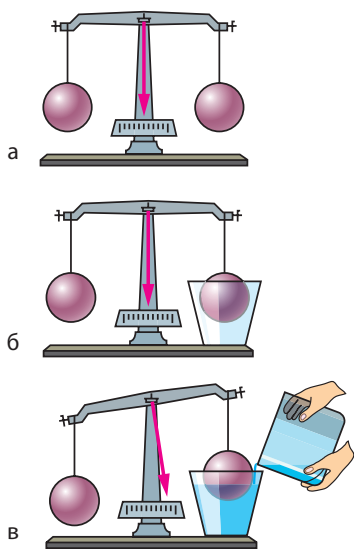


Рис. 31.1. На кулю у воді діє сила, напрямлена вгору

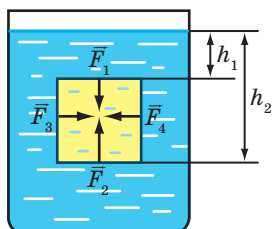


Рис. 31.2. Сили тиску \vec{F}_3 і \vec{F}_4 , що діють на бічні грані кубика, зрівноважені ($F_3 = F_4$). Сила тиску \vec{F}_2 , яка діє на нижню грань кубика, більша за силу тиску \vec{F}_1 , що діє на верхню грань ($F_2 > F_1$)



Рис. 31.3. Айсберг плаває на поверхні води завдяки дії виштовхувальної (архімедової) сили

і побачимо, що рівновага терезів порушиться (рис. 31.1, б) — якась сила намагається виштовхнути кулю з води.

Звідки ж береться ця сила? Щоб розібратися, розгляньмо занурений у рідину кубик. На нього з усіх боків діють сили гідростатичного тиску рідини (рис. 31.2).

Сили гідростатичного тиску \vec{F}_3 і \vec{F}_4 , що діють на бічні грані кубика, є протилежними за напрямком і рівними за значенням: площі бічних граней однакові, і грані розташовані на однаковій глибині. Такі сили зрівноважують одна одну.

А от сили гідростатичного тиску \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що відповідно діють на верхню і нижню грані кубика, одна одну не зрівноважують.

На верхню грань кубика діє сила тиску \vec{F}_1 :

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{рід}} g h_1 \cdot S,$$

де $p_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1$ — гідростатичний тиск рідини, $\rho_{\text{рід}}$ — густина рідини, h_1 — глибина занурення верхньої грані кубика, S — площа грані.

Аналогічно на нижню грань кубика діє сила тиску \vec{F}_2 :

$$F_2 = \rho_{\text{рід}} g h_2 S.$$

Нижня грань перебуває на більшій глибині, ніж верхня ($h_2 > h_1$), тому сила тиску F_2 більша за силу тиску F_1 . Рівнодійна цих сил дорівнює різниці значень сил F_2 і F_1 і напрямлена в бік дії більшої сили, тобто вертикально вгору.

По вертикалі вгору на кубик, занурений у рідину, діє сила, зумовлена різницею тисків на його нижню і верхню грані, — виштовхувальна сила:

$$F_{\text{вишт}} = F_2 - F_1.$$

На тіло, розташоване в газі, також діє виштовхувальна сила, але вона значно менша за силу, що діє на це тіло в рідині, адже густина газу набагато менша за густину рідини.

Виштовхувальну силу, яка діє на тіло в рідині (рис. 31.3) або в газі, називають також *архімедовою силою* (на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше вказав на її існування та обчислив її значення).

2 Розраховуємо архімедову силу

Обчислимо значення архімедової сили для кубика, зануреного в рідину (див. рис. 31.2).

Ми вже показали, що архімедова (виштовхувальна) сила дорівнює різниці сил тисків рідини на нижню і верхню грані кубика (див. п. 1):

$$F_{\text{арх}} = F_2 - F_1,$$

де $F_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1 S$ — сила тиску рідини на верхню грань кубика, а $F_2 = \rho_{\text{рід}} g h_2 S$ — сила тиску рідини на нижню грань кубика.

Знаючи F_2 і F_1 , знайдемо виштовхувальну силу:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g h_2 S - \rho_{\text{рід}} g h_1 S = \rho_{\text{рід}} g S (h_2 - h_1).$$

Різниця глибин $h_2 - h_1$, на яких перебувають нижня і верхня грані кубика, є висотою h кубика, отже, $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g S \cdot h$.

Добуток площі S основи кубика на його висоту h — це об'єм V кубика: $V = Sh$, тож маємо формулу для розрахунку архімедової сили:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V.$$

Легко побачити, що $\rho_{\text{рід}} V$ — це маса рідини в об'ємі кубика ($m_{\text{рід}}$), отже,

$$F_{\text{арх}} = m_{\text{рід}} g = P_{\text{рід}}.$$

Архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі кубика: $P_{\text{рід}} = F_{\text{арх}}$.

Наші міркування ми проводили для кубика, який був повністю занурений у рідину. Але отриманий результат справджується і для тіла будь-якої форми, і для випадків, коли тіло занурене в рідину частково, — для розрахунків лише потрібно брати об'єм зануреної в рідину частини тіла. Крім того, результат справджується й для газів.

А тепер сформулюємо **закон Архімеда**:

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід(газу)}} g V_{\text{зан}}$$

Тут $F_{\text{арх}}$ — архімедова сила, $\rho_{\text{рід(газу)}}$ — густина рідини або газу, $V_{\text{зан}}$ — об'єм зануреної частини тіла.

Сила Архімеда прикладена до центра зануреної частини тіла і напрямлена вертикально вгору (рис. 31.4).

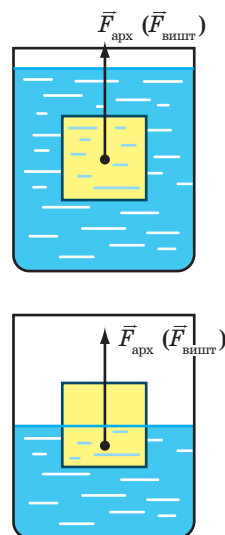


Рис. 31.4. Точка прикладання та напрямок сили Архімеда

3 З'ясовуємо, що ніякої втрати ваги тіла в рідині немає

Підвісимо до динамометра камінець на нитці. Динамометр покаже вагу камінця. Підставимо склянку з водою так, щоб камінець був повністю занурений у воду. Показ динамометра зменшиться. Здається, що камінець «утратив» частину своєї ваги. Але *ніякої втрати ваги тіла в рідині не відбувається*: вага перерозподіляється між підвісом (ниткою) і опорою (ридиною). Навіть якщо архімедова сила, що діє на тіло, є достатньою, щоб утримати це тіло, і підвіс не буде розтягнутий, то тіло все одно не перебуває в невагомості, адже воно тисне на опору — рідину.

Однак треба зазначити: коли тіло плаває, його вага розподіляється на воду, що оточує всю поверхню тіла. Тому під час плавання у воді нам здається, що ми втратили вагу. Такі комфортні умови підтримування важкого тіла зумовили те, що внаслідок еволюції наймасивніші істоти на Землі мешкають в океані: найбільшою твариною на нашій планеті є кит, маса якого може сягати 150 т, а довжина — 35 м.

Саме архімедова сила допомагає нам піднімати у воді важкі камені або інші предмети, адже частина сили тяжіння, що діє на ці тіла, зрівноважується не силою наших рук, а архімедовою силою.

Однак є випадки, коли вода не допомагає підняти тіло, а навпаки — заважає. Це трапляється, коли тіло лежить на дні й щільно до нього прилягає. Вода не може потрапити під нижню поверхню тіла і допомогти своїм тиском підняти його. Щоб відірвати тіло від дна, слід подолати силу тяжіння, яка діє на тіло, а також силу тиску води на верхню поверхню тіла. (До речі, саме з цим ми маємо справу, коли намагаємося витягти пробку з наповненої водою ванни.) Слід зауважити, що зазначене явище може призвести й до трагедії: якщо підводний човен опуститься на глинисте дно і витіснить із-під себе воду, самотужки спливати він не зможе.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Суцільний алюмінієвий брусок масою 540 г повністю занурений у воду і не торкається дна та стінок посудини. Знайдіть архімедову силу, що діє на брусок.

Дано:

$$m = 540 \text{ г} = 0,54 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F_{\text{арх}} \text{ — ?}$$

Аналіз фізичної проблеми.

На занурений у воду алюмінієвий брусок діє архімедова сила. Для її обчислення потрібно знати густину води та знайти об'єм бруска. Для визначення об'єму бруска скористаємось визначенням густини тіла: $\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_6}$. Густина води та алюмінію знайдемо в таблиці.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За законом Архімеда: $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g V_6$.

Об'єм бруска знайдемо з визначення густини:

$$\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_6} \Rightarrow V_6 = \frac{m}{\rho_{\text{ал}}}$$

Підставимо вираз для об'єму бруска у формулу для розрахунку архімедової сили: $F_{\text{арх}} = \frac{\rho_{\text{води}} g m}{\rho_{\text{ал}}}$.

Перевіримо одиницю шуканої величини: $[F_{\text{арх}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{Н}$.

Знайдемо числове значення: $F_{\text{арх}} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 0,54}{2700} = 2 \text{ (Н)}$.

Відповідь: на алюмінієвий брусок діє архімедова сила 2 Н.



Підбиваємо підсумки

На тіло, що перебуває в рідині або газі, діє виштовхувальна (архімедова) сила. Причина її появи в тому, що гідростатичні тиски рідини або газу, які діють на верхню і нижню поверхні тіла, є різними.

Закон Архімеда: на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка напрямлена вертикально вгору та дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла: $F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}}$.



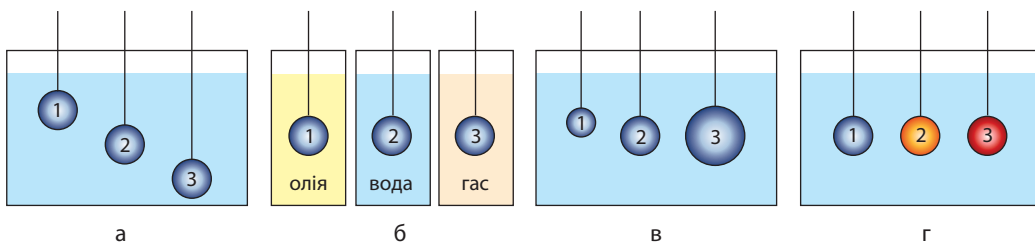
Контрольні запитання

1. Куди напрямлена сила, яка діє з боку рідини або газу на тіло, що в них занурене?
2. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
3. Як іще називають виштовхувальну силу?
4. Сформулюйте закон Архімеда.
5. Чи втрачає вагу тіло, занурене в рідину або газ? Чому?
6. У яких випадках на тіло, занурене в рідину, не діє виштовхувальна сила? Чому?



Вправа № 31

1. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на кульки в таких випадках:
 - а) однакові залізни кульки в посудині з водою (див. [рисунок а](#));
 - б) однакові залізни кульки в посудинах із різною рідиною (див. [рисунок б](#));
 - в) різні за розміром залізни кульки в посудині з водою (див. [рисунок в](#));
 - г) однакові за розміром кульки з різних матеріалів у посудині з водою (див. [рисунок г](#)).
2. Щоб відірвати підводний човен від глинистого дна, водолази прокопують під ним тунелі. Для чого вони це роблять?
3. Сталева куля об'ємом 400 см³ занурена в гас. Обчисліть архімедову силу, що діє на кулю.
4. На кулю, повністю занурену у ртуть, діє архімедова сила 136 Н. Обчисліть об'єм кулі.
5. Алюмінієвий брусок масою 2,7 кг частково занурений у воду. На брусок діє архімедова сила 2,5 Н. Яка частина бруска занурена у воду?



6. Яким буде показ динамометра, якщо підвішений до нього вантаж масою 1,6 кг і об'ємом 1000 см^3 занурити у воду?
7. Якщо підвішений до динамометра брусок занурюють у воду, то динамометр показує 34 Н, якщо в гас — динамометр показує 38 Н. Обчисліть масу та густину бруска.
8. Чи виконуються на штучному супутнику Землі закон Паскаля і закон Архімеда?
9. На сталевому тросі, жорсткість якого становить 3 МН/м, рівномірно піднімають з дна водойми затонулу статую об'ємом $0,5 \text{ м}^3$. Знайдіть масу статуї, якщо видовження троса дорівнює 3 мм. Опором води знехтуйте.
10. Одна з легенд, що існували ще за життя Архімеда, розповідає про подію, яка передувала відкриттю закону, що з часом дістав назву закону Архімеда. Скориставшись Інтернетом або додатковою літературою, дізнайтеся, що це за легенда.
Чи можна вважати, що корона зроблена з чистого золота, якщо її вага в повітрі дорівнює 20 Н, а у воді — 18,7 Н?



Експериментальне завдання

«Родзинки-танцівниці». Підготуйте обладнання: високу скляну посудину (або пластикову пляшку), газовану воду, декілька родзинок.

Проведіть такий дослід.

1. Наповніть посудину газованою водою.
2. Киньте родзинки у воду.
3. Спостерігайте за родзинками та бульбашками на їхній поверхні.

Що відбувається з родзинками? Як змінюються кількість і розміри бульбашок? Які сили діють на родзинки? Чому родзинки рухаються?



§ 32. УМОВИ ПЛAVАННЯ ТІЛ

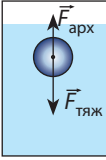
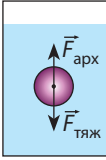
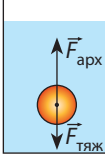
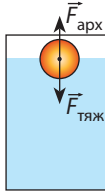




У побуті для приготування розчину солі певної густини господині користуються таким прийомом. Вони занурюють у розчин сире яйце: якщо густина розчину замала, то яйце тоне, якщо достатня — спливає. Так само під час консервації визначають і густину цукрового сиропу. Сьогодні ви дізнаєтесь, коли тіло плаває в рідині чи газі, коли спливає і коли тоне.



1 Обґрунтовуємо умови плавання тіл

Ви, звісно, можете навести скільки завгодно прикладів плавання тіл. Плавають кораблі і човни, дерев'яні іграшки й повітряні кульки, плавають риби, дельфіни, інші істоти. А від чого залежить здатність тіла плавати?

Проведемо дослід. Візьмемо невелику посудину з водою та декілька куль або брусків, виготовлених із різних матеріалів. Будемо по черзі опускати тіла у воду на певну глибину, а потім відпускати їх без початкової швидкості. Далі залежно від густини тіла можливі такі варіанти (див. таблицю).

Занурення	Плавання всередині рідини	Спливання	Плавання на поверхні рідини
 $\vec{F}_{\text{тяж}} > \vec{F}_{\text{арх}}$	 $\vec{F}_{\text{тяж}} = \vec{F}_{\text{арх}}$	 $\vec{F}_{\text{арх}} > \vec{F}_{\text{тяж}}$	 $\vec{F}_{\text{тяж}} = \vec{F}_{\text{арх}}$
$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$	$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$
 <p>Камінь тоне у воді</p>	 <p>Риба плаває у воді на певній глибині</p>	 <p>Підводний човен піднімається з великої глибини</p>	 <p>Лебідь плаває на поверхні води</p>

Варіант 1. Занурення. Тіло починає тонути і врешті опускається на дно посудини. З'ясуємо, чому це відбувається. На початку руху на тіло діють дві сили: сила тяжіння $F_{\text{тяж}} = m_{\text{т}}g = \rho_{\text{т}}gV_{\text{т}}$ (оскільки $m_{\text{т}} = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}$), напрямлена вертикально вниз, та виштовхувальна сила $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}}gV_{\text{т}}$, напрямлена вгору. Тіло занурюється, а це означає, що вниз діє більша сила. Отже, під час занурення сила тяжіння є більшою за архімедову силу:

$$F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}.$$

Оскільки $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}}gV_{\text{т}}$, а $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}}gV_{\text{т}}$, то $\rho_{\text{т}}gV_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}gV_{\text{т}}$. Після скорочення на $gV_{\text{т}}$ маємо:

$$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}.$$

Тіло тоне в рідині або газі, якщо густина тіла є більшою за густину рідини або газу.

Варіант 2. Плавання всередині рідини. Тіло не тоне і не спливає, а залишається плавати в товщі рідини. Вважаємо, що вам не буде складно довести: у цьому випадку густина тіла дорівнює густині рідини:

$$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}.$$

Тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо густина тіла дорівнює густині рідини або газу.

Варіант 3. Спливання. Тіло починає спливати і врешті зупиняється на поверхні рідини, занурившись у рідину частково.

Зрозуміло, що поки тіло спливає, архімедова сила є більшою за силу тяжіння:

$$F_{\text{тяж}} < F_{\text{арх}} \Rightarrow \rho_{\text{т}} g V_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}} g V_{\text{т}}, \text{ або} \\ \rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}.$$

Після того як тіло зупиниться на поверхні рідини, архімедова сила і сила тяжіння будуть зрівноважені:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}.$$

У цьому випадку $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V_{\text{зан}}$, а $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}} g V_{\text{т}}$. Із рівності сил маємо: $\rho_{\text{т}} V_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}} V_{\text{зан}}$.

Об'єм усього тіла більший за об'єм зануреної частини ($V_{\text{т}} > V_{\text{зан}}$), тому густина тіла менша за густину рідини:

$$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}.$$

Тіло спливає в рідині та газі або плаває на поверхні рідини, якщо густина тіла є меншою, ніж густина рідини або газу.

2 Спостерігаємо плавання тіл у живій природі

Тіла мешканців морів і річок містять у своєму складі багато води, тому їхня густина близька до густини води. Щоб керувати середньою густиною свого тіла, водні мешканці використовують різні «прийоми». Наведемо приклади.

У риб із плавальним міхуром таке керування відбувається за рахунок зміни об'єму міхура (рис. 32.1).

Молюск наутилус (рис. 32.2), який живе в тропічних морях, може швидко спливати і знову опускатися на дно завдяки тому, що змінює об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі (адже цей молюск живе в закрученій спіралі мушлі).

Поширений у Європі водяний павук (рис. 32.3) несе із собою в глибину повітряну оболонку на черевці — саме вона дає йому запас плавучості й допомагає повернутися на поверхню.

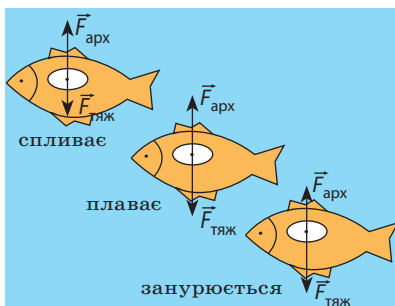


Рис. 32.1. Змінюючи об'єм плавального міхура, риба може занурюватися, спливати або плавати всередині рідини



Рис. 32.2. Молюск наутилус плаває завдяки здатності змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі



Рис. 32.3. Повітряна оболонка на черевці дозволяє водяному павукові підніматися з глибини на поверхню

3 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Чи буде плавати у воді мідна куля масою 445 г, усередині якої є порожнина об'ємом 450 см³?

Дано:

$$m_{\text{міді}} = m_{\text{кулі}} = 445 \text{ г}$$

$$V_{\text{порожн}} = 450 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{міді}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{кулі}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми.

Щоб визначити, як поводитиметься куля у воді, потрібно густину кулі ($\rho_{\text{кулі}}$) порівняти з густиною води ($\rho_{\text{води}}$).

Для обчислення густини кулі слід знати її об'єм — він складається з об'єму мідної оболонки $V_{\text{міді}}$ та об'єму порожнини $V_{\text{порожн}}$. Об'єм мідної оболонки знайдемо, знаючи масу та густину міді. Урахуємо, що маса повітря в кулі є незначною порівняно з масою міді, тому $m_{\text{міді}} = m_{\text{кулі}}$.

Густини міді та води знайдемо в таблиці густин.

Задачу доцільно розв'язувати в поданих одиницях.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Запишемо формулу для визначення густини кулі: $\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}}$.

Об'єм кулі: $V_{\text{кулі}} = V_{\text{міді}} + V_{\text{порожн}}$, де $V_{\text{міді}} = \frac{m_{\text{міді}}}{\rho_{\text{міді}}}$ — об'єм мідної оболонки.

$$\text{Тоді } V_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{міді}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожн}}$$

Розв'яжемо задачу за діями: спочатку знайдемо об'єм кулі:

$$V_{\text{кулі}} = \frac{445 \text{ г}}{8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} + 450 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3 + 450 \text{ см}^3 = 500 \text{ см}^3;$$

знаючи об'єм та масу кулі, визначимо її густину:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{445 \text{ г}}{500 \text{ см}^3} = 0,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Аналіз результату: густина кулі менша за густину води, тому куля буде плавати на поверхні води.

Відповідь: куля буде плавати на поверхні води.



Підбиваємо підсумки

Тіло тоне в рідині або газі, якщо густина тіла є більшою за густину рідини або газу ($\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$). Тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо густина тіла дорівнює густині рідини або газу ($\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$). Тіло спливає в рідині та газі або плаває на поверхні рідини, якщо густина тіла є меншою за густину рідини або газу ($\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$).



Контрольні запитання

1. За якої умови тіло тонутиме в рідині або газі? Наведіть приклади.
2. Яку умову потрібно виконати, щоб тіло плавало в товщі рідини або газу? Наведіть приклади тіл, які плавають у товщі рідини або газу.
3. Сформулюйте умову спливання тіла в рідині або газі. Наведіть приклади.
4. За якої умови тіло плаватиме на поверхні рідини?
5. Для чого і як мешканці морів і річок змінюють власну густину?



Вправа № 32

1. Чи буде свинцевий брусок плавати у ртуті? у воді? в олії?
2. Розташуйте кульки, зображені на рис. 1, у порядку збільшення їхньої густини.
3. Чи буде брусок масою 120 г і об'ємом 150 см³ плавати у воді?
4. Скориставшись рис. 2, поясніть, як підводний човен здійснює занурення та підняття на поверхню.
5. Тіло плаває в гасі, повністю занурившись. Якою є маса тіла, якщо його об'єм становить 250 см³?
6. У посудину налито ртуть, воду та бензин (рис. 3). Рідини не змішуються. У посудину опускають три кульки: сталеву, пінопластову та дубову. Як розташовуються шари рідин у посудині? Визначте за рисунком, де яка кулька. Відповідь поясніть.
7. Визначте об'єм зануреної у воду частини танка-амфібії та масу танка, якщо на танк діє архімедова сила 140 кН.
8. Складіть задачу, обернену до задачі, розглянутої в параграфі, та розв'яжіть її.
9. Установіть відповідність між густиною тіла, яке плаває у воді, і частиною тіла, що перебуває над поверхнею води.

A $\rho_T = 400 \text{ кг/м}^3$	1 0
Б $\rho_T = 600 \text{ кг/м}^3$	2 0,1
В $\rho_T = 900 \text{ кг/м}^3$	3 0,4
Г $\rho_T = 1000 \text{ кг/м}^3$	4 0,6
	5 0,9
10. Прилад для вимірювання густини рідин називається *ареометром*. Скориставшись Інтернетом, дізнайтесь, як побудований цей прилад, яким є принцип його дії. Напишіть інструкцію, як користуватись ареометром.
11. Заповніть порожні місця в таблиці. Вважайте, що тіло повністю занурене в рідину.



Фізичні величини					Формули для розрахунку шуканих величин
Маса тіла	Об'єм тіла	Густина тіла	Густина рідини	Архімедова сила	
20 кг	0,008 м ³		1000 кг/м ³		
		4000 кг/м ³	900 кг/м ³	180 Н	
100 г		0,4 г/см ³		2 Н	

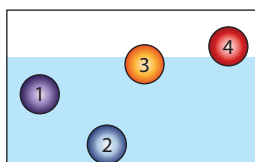


Рис. 1



Рис. 2

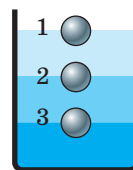


Рис. 3



Експериментальне завдання

«Картезіанський водолаз». Зробіть фізичну іграшку, яку придумав Рене Декарт: у пластикову пляшку налейте воду і помістіть туди отвором донизу невелику мензурку (або маленьку склянку з-під ліків), частково заповнену водою (див. рисунок). Води в мензурці має бути стільки, щоб мензурка ледь піднімалася над поверхнею води в пляшці. Закрийте пляшку і натисніть на бічні стінки пляшки. Прослідкуйте за поведінкою мензурки. Поясніть дію цього пристрою.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Тема. З'ясування умов плавання тіл.

Мета: дослідним шляхом визначити, за яких умов тіло плаває на поверхні або всередині рідини, за яких умов тіло тоне в рідині.

Обладнання: пробірка (або невелика склянка з-під ліків) з корком, дротинка або нитка завдовжки 20–25 см, посудина з сухим піском, паперові серветки, мірний циліндр, до половини наповнений водою, терези з важками.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
 - Які сили діють на тіло, занурене в рідину?
 - За якою формулою обчислюють силу тяжіння?
 - За якою формулою розраховують архімедову силу?
 - За якою формулою визначають середню густину тіла?
- Визначте ціну поділки шкали мірного циліндра.
- Закріпіть пробірку на нитці (дротинці) так, щоб, тримаючи за нитку, можна було занурити пробірку в мірний циліндр, а потім витягти назад.
- Підготуйте для роботи терези.

Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Дослід 1. З'ясування умов, за яких тіло тоне в рідині.

- Виміряйте об'єм води V_1 в мірному циліндрі.
- Наповніть пробірку піском. Закрийте корок.
- Опустіть пробірку в мірний циліндр із водою. У результаті ваших дій вона має опинитися на дні.

- 4) Виміряйте рівень води V_2 в мірному циліндрі.
- 5) Витягніть пробірку з мірного циліндра. Протріть її серветкою.
- 6) Покладіть пробірку на терези та виміряйте її масу з точністю до 0,5 г.

Дослід 2. З'ясування умов, за яких тіло плаває всередині рідини.

- 1) Відсипаючи пісок із пробірки, доможіться того, щоб вона вільно плавала всередині рідини.
- 2) Повторіть дії, описані в пп. 5–6 досліді 1.

Дослід 3. З'ясування умов, за яких тіло плаває на поверхні рідини.

- 1) Відсипте з пробірки ще певну кількість піску. Переконайтеся, що після повного занурення у воду вона спливає на поверхню рідини.
- 2) Повторіть дії, описані в пп. 5–6 досліді 1.

Номер досліді	$V_{1'}$ см ³	$V_{2'}$ см ³	$V_{\text{п}} = V_2 - V_{1'}$ см ³	m , г	$\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{р}}}$ $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\frac{\rho_{\text{р}}}{\rho_{\text{п}}}$ $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Порівняння $\rho_{\text{п}}$ і $\rho_{\text{р}}$ (=, <, >)	Яке явище спостерігається
1							$\rho_{\text{п}} < \rho_{\text{р}}$	Тоне
2							$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{р}}$	Вільно плаває всередині рідини
3							$\rho_{\text{п}} > \rho_{\text{р}}$	Спливає

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліді:
 - 1) виконайте схематичне креслення, на якому зазначте сили, що діють на пробірку;
 - 2) обчисліть середню густину пробірки з піском.
2. Занесіть до таблиці результати обчислень і закінчіть заповнення таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши результати, зробіть висновок, у якому зазначте, за яких умов тіло плаває на поверхні рідини, всередині рідини, за яких умов тіло тоне в рідині.

+ Творче завдання

Для досліді 2 знайдіть найбільше і найменше можливі значення густини пробірки з урахуванням абсолютної похибки вимірювання: $\rho_{\text{min}} = \frac{m - \Delta m}{V + \Delta V}$; $\rho_{\text{max}} = \frac{m + \Delta m}{V - \Delta V}$.
Визначте, чи належить значення густини води ρ до інтервалу $[\rho_{\text{min}}; \rho_{\text{max}}]$.

§ 33. СУДНОПЛАВСТВО ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

Сталевий брусок у воді тоне, проте сталеві судна плавають. Нейлонова тканина падає в повітрі, а повітряні кулі, виготовлені з цієї тканини, здіймаються вгору і піднімають гондоли з пасажирами. Чому ж сталеві судна плавають у воді, а повітряні кулі називають апаратами, що легші за повітря? Отримати відповіді на ці запитання вам допоможуть знання про основи судноплавства та повітроплавання.

1 З'ясуємо, чому плавають судна

На перший погляд, сталь не є придатною для виготовлення плавучого засобу: густина сталі набагато більша від густини води, тому сталева пластинка у воді тоне. Але якщо з пластинки зробити човник і покласти його на поверхню води, він плаватиме (рис. 33.1). Чому?

Річ у тому, що занурена частина човника витісняє води достатньо, щоб архімедова сила зрівноважила силу тяжіння, яка діє на човник. Іншими словами, середня густина човника за рахунок повітря всередині нього набагато менша за густину води. Тому човник плаває на поверхні води, лише трохи занурюючись.

Ця властивість лежить в основі конструкції всіх плавучих суден.

Середня густина суден набагато менша за густину води, тому судна плавають на її поверхні, занурюючись на відносно невелику частину свого об'єму.

2 З'ясуємо характеристики суден

Коли нове судно спускають на воду, воно починає занурюватися в неї. Нижня частина судна починає витісняти воду, унаслідок чого виникає архімедова сила. Коли архімедова сила зрівноважує силу тяжіння, що діє на судно, воно перестає занурюватися.

Глибина, на яку занурюється судно, називається *осадкою*. *Осадка судна буде змінюватися залежно від навантаження судна та від того, в річковій чи морській воді воно перебуває.* Зрозуміло, що судно не можна перевантажувати.

Лінія на корпусі судна, що позначає його найбільшу допустиму осадку, за якої судно може безпечно плавати, називається *ватерлінією* (рис. 33.2). Коли судно повністю навантажене, то воно занурене у воду врівень із ватерлінією.

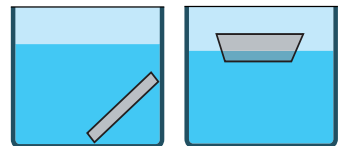
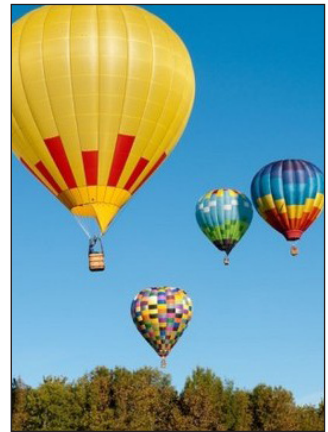


Рис. 33.1. Сталева пластинка тоне, а виготовлений з неї човник плаває



Рис. 33.2. Зазвичай корпус судна пофарбований так, що вище від ватерлінії він чорний або білий, а нижче — відповідно червоний або чорний. Біля самої ватерлінії обов'язково стоять позначки

Вага води, яку витісняє судно, занурене до ватерлінії, тобто архімедова сила, що діє на повністю навантажене судно, називається **повною водотоннажністю судна**.

Нагадаємо: оскільки судно плаває на поверхні води, то архімедова сила, яка діє на нього, за значенням дорівнює силі тяжіння, що діє на судно з вантажем:

$$F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}} = (m_{\text{судна}} + m_{\text{вант}})g.$$

Найбільші судна — танкери для нафти — мають водотоннажність до 5 млн кН, тобто їхня маса з вантажем сягає 500 000 т. Якщо з повної водотоннажності виключити вагу самого судна, то ми отримаємо *максимальну вагу вантажу, який може взяти на борт це судно*, тобто обчислимо *вантажність судна*.

Вантажність судна — максимальна вага вантажу, який судно може взяти на борт, — це різниця між водотоннажністю судна і його вагою.

Україна — морська держава. У країні є як морський, так і річковий флот, десятки портів, що мають велике економічне значення: Одеса, Бердянськ та інші; працюють десятки суднобудівних і судноремонтних заводів (у Миколаєві, Києві, Херсоні, Одесі тощо).

3 Дізнаємося, як здійснилася мрія людини літати

Люди вже давно використовують повітряні кулі (аеростати), що здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям або легким газом.

На повітряну кулю в повітрі діє виштовхувальна сила. *Середня густина повітряної кулі менша за густину повітря, тому виштовхувальна сила більша за силу тяжіння, і куля піднімається.*

Різниця між виштовхувальною силою і силою тяжіння становить **піднімальну силу** повітряної кулі.

Повітряні кулі використовують для метеорологічних та інших досліджень, змагань, перевезень пасажирів, туристичних та пізнавальних подорожей.

Повітряні кулі, наповнені легким газом (переважно гелієм), називають *шарльєрами*.

Останнім часом набули поширення повітряні кулі, наповнені гарячим повітрям, — сучасні *монгольф'єри* (рис. 33.3). Високу температуру повітря всередині кулі підтримують газові пальники, встановлені в горловині повітряної кулі.



Рис. 33.3. Повітряні кулі, які здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям, і зараз називають монгольф'єрами (на честь братів Монгольф'є з Франції, які у XVIII ст. зробили цій винахід)

Оскільки густина повітря зменшується з висотою, повітряні кулі не можуть піднятися на яку завгодно висоту.

Повітряні кулі піднімаються тільки до тієї висоти, де густина повітря дорівнює середній густині кулі.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. У річковому порту судно взяло на борт 100 т вантажу, через що осадка судна збільшилася на 0,2 м і досягла найбільшої допустимої. Якою є площа перерізу судна на рівні ватерлінії?

Дано:

$$m_{\text{вант}} = 100 \text{ т} = \\ = 100\,000 \text{ кг}$$

$$h = 0,2 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

S — ?

Аналіз фізичної проблеми.

Коли на судно помістили вантаж, воно збільшило осадку і додатково витіснило певний об'єм води. Відповідно до закону Архімеда, вага вантажу дорівнює вазі цієї води $P_{\text{вант}} = P_{\text{води}}$.

Унаслідок збільшення осадки судна лише на 20 см площа перерізу судна на рівні поверхні води змінилася незначно, тому об'єм додатково витісненої води дорівнює $V_{\text{води}} = hS$, де h — збільшення осадки; S — площа перерізу судна на рівні ватерлінії, оскільки судно досягло найбільшої осадки.

Порт річковий, тому густина води дорівнює 1000 кг/м³.

Задачу слід розв'язувати в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

1. Знайдемо масу додатково витісненої води.

За законом Архімеда: $P_{\text{вант}} = P_{\text{води}}$.

$$P_{\text{вант}} = m_{\text{вант}}g, \text{ а } P_{\text{води}} = m_{\text{води}}g, \text{ тому } m_{\text{води}} = m_{\text{вант}} = 100\,000 \text{ кг.}$$

2. Знайдемо об'єм додатково витісненої води:

$$V_{\text{води}} = \frac{m_{\text{води}}}{\rho_{\text{води}}} = \frac{100\,000 \text{ кг}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 100 \text{ м}^3.$$

3. Площу перерізу S обчислимо через об'єм води:

$$V_{\text{води}} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{\text{води}}}{h} = \frac{100 \text{ м}^3}{0,2 \text{ м}} = 500 \text{ м}^2.$$

Відповідь: площа перерізу судна на рівні ватерлінії дорівнює 500 м².

Ми розв'язали цю задачу за діями. Ваше завдання — розв'язати ту саму задачу в загальному вигляді (отримати загальну формулу, перевірити одиниці, знайти числове значення).

Задача 2. Об'єм повітряної кулі дорівнює 400 м^3 . Куля натягує трос, яким прикріплена до причальної щогли, із силою 800 Н . Після звільнення троса куля піднімається до певної висоти. Якою є густина повітря на цій висоті, якщо густина повітря навколо причалу дорівнює $1,3 \text{ кг/м}^3$?

Дано:

$$V_{\text{кулі}} = 400 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{нат}} = 800 \text{ Н}$$

$$\rho_{0 \text{ пов}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \approx 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

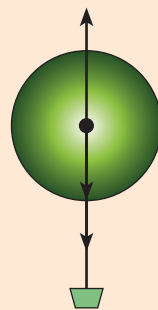
$$\rho_{\text{пов}} = ?$$

Аналіз фізичної проблеми.

Якщо повітряна куля припинила підніматися, то середня густина повітря на цій висоті дорівнює середній густині кулі. Щоб визначити густину кулі, потрібно знайти її масу. Масу кулі знайдемо за силою тяжіння, що діє на кулю.

Для визначення сили тяжіння виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо всі сили, що діяли на кулю на причалі: $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — сила тяжіння, $\vec{F}_{\text{арх}}$ — сила Архімеда, $\vec{F}_{\text{нат}}$ — сила натягу троса. Куля не рухалася, тому сили, які діяли на неї, були скомпенсовані.

Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ, за діями.



Пошук математичної моделі, розв'язання.

Сили скомпенсовані, тому $F_{\text{тяж}} + F_{\text{нат}} = F_{\text{арх}} \Rightarrow F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}$.

1. Знайдемо архімедову силу, що діяла на кулю:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{0 \text{ пов}} g V_{\text{кулі}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 400 \text{ м}^3 = 5200 \text{ Н}.$$

2. Знайдемо силу тяжіння, що діє на кулю:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}} = 5200 \text{ Н} - 800 \text{ Н} = 4400 \text{ Н}.$$

3. Знайдемо масу кулі: $F_{\text{тяж}} = mg \Rightarrow m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g} = \frac{4400 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 440 \text{ кг}.$

4. За відомими масою та об'ємом знайдемо середню густину кулі:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m}{V_{\text{кулі}}} = \frac{440 \text{ кг}}{400 \text{ м}^3} = 1,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

5. Середня густина повітря дорівнює середній густині кулі, тому $\rho_{\text{пов}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$.

Відповідь: густина повітря на висоті найбільшого підняття кулі дорівнює $1,1 \text{ кг/м}^3$.



Контрольні запитання

1. Чому металеве судно плаває на поверхні води? 2. Що таке осадка судна? 3. Як найбільшу допустиму осадку позначають на корпусі судна? 4. Дайте визначення повної водотоннажності судна, вантажності судна. 5. Як знайти піднімальну силу повітряної кулі? 6. Чим обмежена максимальна висота підняття повітряної кулі?



Вправа № 33

- Занурене в прісну воду судно витісняє воду об'ємом $15\,000\text{ м}^3$. Знайдіть:
 - водотоннажність судна;
 - вагу вантажу, якщо вага порожнього судна становить $5\,000\,000\text{ Н}$.
- Вантаж якої найбільшої маси можна перевезти на плоті, якщо маса плота дорівнює 100 кг , а об'єм становить 1 м^3 ?
- Повітряна кулька масою 100 г натягує нитку, на якій утримується, із силою 1 Н . Обчисліть:
 - силу тяжіння, що діє на кульку;
 - архімедову силу, що діє на кульку.
- Чи буде змінюватися виштовхувальна сила, яка діє на судно, коли воно переходить із річки в море? Чи зміниться осадка судна?
- Повітряна куля припинила підніматися на висоті 3 км . Якою є густина повітря на цій висоті, якщо об'єм кулі 600 м^3 , а загальна маса оболонки кулі, газу всередині та гондоли дорівнює 540 кг .
- Судно в річці витісняє воду об'ємом $20\,000\text{ м}^3$. На скільки зміниться об'єм води, яку витісняє судно, внаслідок переходу судна з річки до моря?
- Густина повітря поблизу поверхні Землі дорівнює $1,29\text{ кг/м}^3$. Якою має бути густина теплого повітря всередині повітряної кулі, щоб куля здійнялась? Об'єм кулі становить 500 м^3 , маса оболонки й вантажу — 150 кг .
- Підготуйте доповідь і презентацію на одну з тем: «Історія повітроплавання», «Історія судноплавства».
- Скориставшись рубрикою «Підбиваємо підсумки розділу 3», повторіть усе, про що ви дізналися, вивчаючи розділ «Взаємодія тіл. Сила».



Експериментальне завдання

«Човен». Виготовте з пластиліну човник і запустіть його в плавання (див. [рисунок](#)). За допомогою металевих монет (див. експериментальне завдання в § 18) визначте вантажність і водотоннажність вашого човна.



Завдання для самоперевірки до розділу 3 «Взаємодія тіл. Сила»

ЧАСТИНА II. ТИСК. ЗАКОН АРХІМЕДА. ПЛАВАННЯ ТІЛ

Завдання 1–8 містять тільки одну правильну відповідь.

- (1 бал) Тиск тіла на опору тим більший, чим:
 - більша вага тіла і більша площа опори;
 - більша вага тіла і менша площа опори;
 - менша вага тіла і менша площа опори;
 - менша вага тіла і більша площа опори.
- (1 бал) За допомогою ручної помпи хлопчик накачав шини велосипеда. Тиск повітря в шинах збільшився внаслідок:
 - збільшення об'єму шин;
 - збільшення маси повітря в шинах;
 - зменшення густини повітря в шинах;
 - зменшення швидкості руху молекул повітря всередині шин.
- (1 бал) Тиск рідини в посудині:
 - однаковий у всіх точках;
 - зростає зі збільшенням глибини;
 - зменшується зі збільшенням глибини;
 - зростає зі зменшенням густини рідини.
- (1 бал) Заміна коліс на гусениці дозволяє значно підвищити прохідність трактора. Це відбувається внаслідок:
 - збільшення потужності двигуна;
 - збільшення маси трактора;
 - зменшення тиску трактора на ґрунт;
 - збільшення швидкості руху трактора.
- (1 бал) Для вимірювання атмосферного тиску використовують:
 - ареометр;
 - динамометр;
 - барометр;
 - манометр.
- (1 бал) На горизонтальній поверхні стола розташовані три кубики однакового розміру: мідний, алюмінієвий і чавунний. Який кубик створює на стіл найбільший тиск?
 - мідний;
 - алюмінієвий;
 - чавунний;
 - тиск усіх кубиків є однаковим.
- (2 бали) Якою є висота шару гасу в бідоні, якщо гідростатичний тиск на дно бідона дорівнює 800 Па ?
 - 1 мм;
 - 1 см;
 - 1 дм;
 - 1 м.
- (2 бали) Який тиск створює оса, якщо жало площею $3 \cdot 10^{-16} \text{ м}^2$ вона встромлює із силою $1 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$?
- (2 бали) Установіть відповідність між виразом для розрахунку фізичної величини та її назвою.

- архімедова сила
- сила тяжіння
- гідростатичний тиск
- тиск твердого тіла
- густина тіла

10. (2 бали) Розташуйте наведені пари значень густини ρ рідини та висоти h шару рідини в посудині у порядку зменшення гідростатичного тиску на дно посудини.

а) $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$, $h = 2 \text{ дм}$;

в) $\rho = 710 \text{ кг/м}^3$, $h = 25 \text{ см}$;

б) $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$, $h = 0,5 \text{ м}$;

г) $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, $h = 150 \text{ мм}$.

11. (2 бали) Ла-Пас — столиця Болівії розташована на висоті 4500 м. Це «найвища» столиця держави на земній кулі. Нормальний атмосферний тиск на цій висоті дорівнює 430 мм рт. ст. Подайте цей тиск в кілопаскалях.

12. (2 бали) Подайте в міліметрах ртутного стовпа тиск 136 кПа.

13. (2 бали) Зафіксований рекордно високий політ птаха належить грифові. На висоті 11 277 м гриф-стервятник «зустрівся» з літаком. Визначте атмосферний тиск на цієї висоті.

14. (3 бали) У рідинний манометр налито ртуть (рис. 1). Праве коліно манометра з'єднане з газовим балоном, а ліве відкрите в атмосферу. Яким є тиск у балоні, якщо атмосферний тиск дорівнює 750 мм рт. ст.?

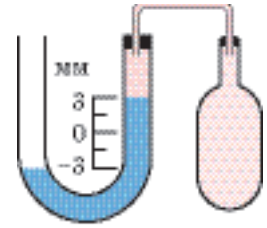


Рис. 1

15. (3 бали) На якій глибині тиск в озері дорівнює 250 кПа?

16. (3 бали) На рис. 2 зображена гідравлічна машина. На малому поршні розташований вантаж масою 10 кг, на великому — масою 160 кг. Діаметр малого поршня гідравлічної машини дорівнює 4 см. Яким є діаметр великого поршня, якщо поршні перебувають у рівновазі та їхніми масами можна знехтувати?

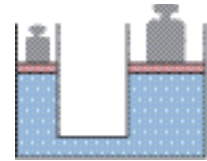


Рис. 2

17. (3 бали) На рис. 3 зображені сполучені посудини. Спочатку в ці посудини була налита вода. Потім поверх води в ліву посудину налили шар гасу заввишки 20 мм. Знайдіть різницю рівнів рідини в сполучених посудинах. Гас із водою не змішується.

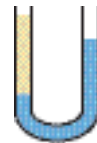


Рис. 3

18. (4 бали) Суцільний однорідний брусок густиною $0,7 \text{ г/см}^3$ плаває у воді так, що над водою перебуває тільки його частина об'ємом 60 см^3 . Яким є об'єм бруска?

19. (4 бали) Якщо кульку, підвішену на нитці, повністю занурити у воду, то сила натягу нитки дорівнюватиме 3 Н. Якщо ж цю кульку занурити в гас, то сила натягу нитки дорівнюватиме 3,2 Н. Якою є густина матеріалу, з якого виготовлена кулька?

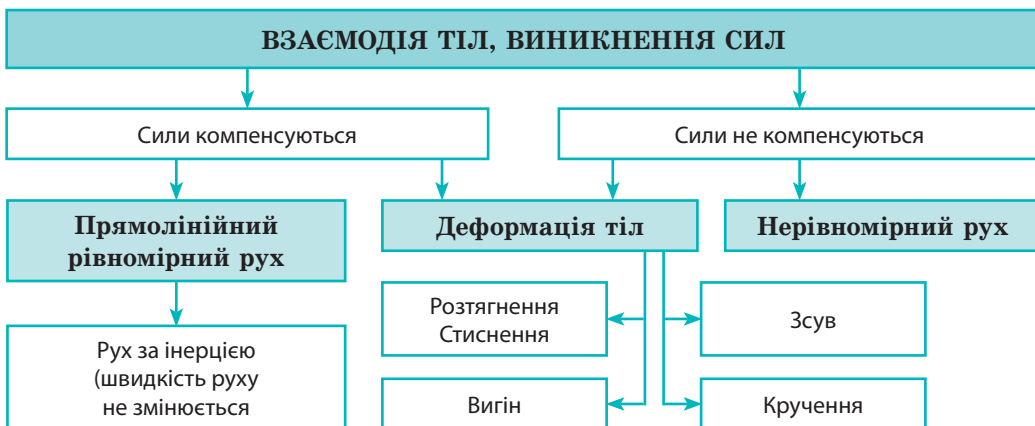
Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте запитання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



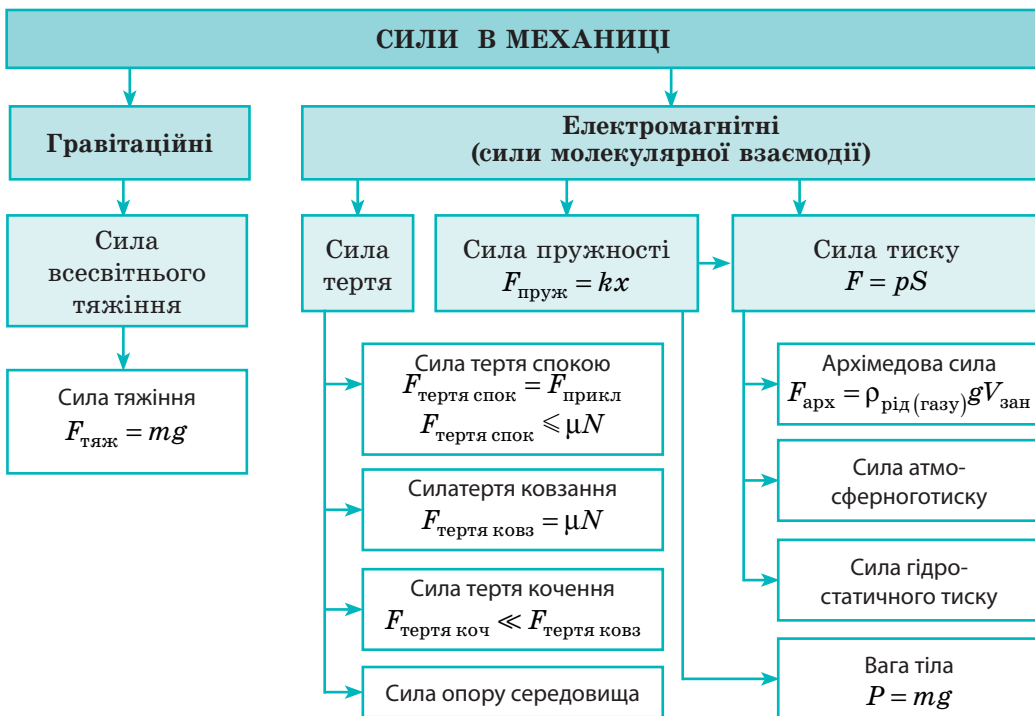
Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 «Взаємодія тіл. Сила»

1. Вивчаючи розділ 3, ви дізналися, що причиною зміни швидкості руху тіл і причиною зміни форми й об'єму тіл є *взаємодія*.



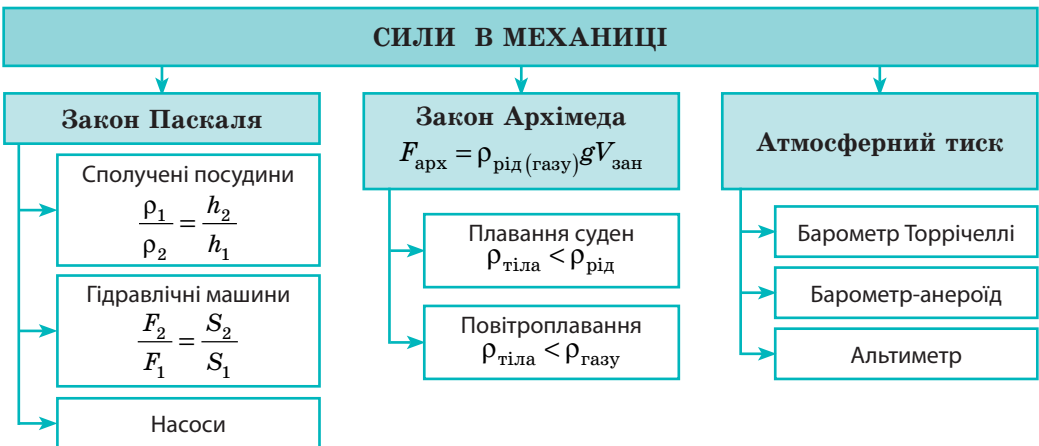
2. Ви ознайомилися з *різними силами в механіці*.



3. Ви продовжили знайомство з фізичними тілами і речовинами та дізналися про *фізичні величини, які характеризують тіло, речовину, взаємодію.*

Фізична величина						
Назва	Що характеризує	Символ	Одиниця в СІ	Формула	Способи вимірювання	Особливості
Маса	Тіло (міра його інертності)	m (ем)	кг (кілограм)	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}$	Зважування. За зміною швидкості руху тіл унаслідок їхньої взаємодії	Також є мірою гравітації та мірою енергії
Густина	Речовину	ρ (ро)	кг/м ³ (кілограм на метр кубічний)	$\rho = \frac{m}{V}$	За відомими масою та об'ємом. Ареометр (густина рідин)	Залежить від температури та агрегатного стану речовини
Сила	Взаємодію	\vec{F} (еф)	Н (ньютон)	Залежить від виду сили	Динамометр	Треба зазначати: значення; напрямок; точку прикладання
Тиск	Результат дії сили	p (пе)	Па (паскаль)	$p = \frac{F}{S}$	За відомими силою та площею. Манометр (тиск газів)	Гідростатичний тиск залежить тільки від висоти стовпа рідини: $p = \rho gh$

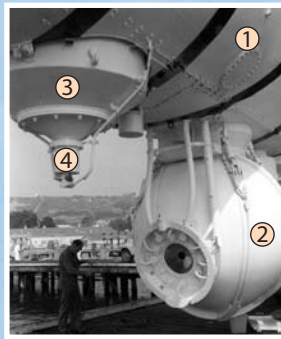
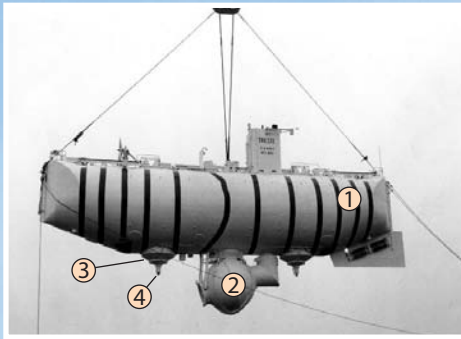
4. Ви дізналися про *тиск рідин і газів, ознайомилися із законами Паскаля і Архімеда, довели наявність атмосферного тиску.*



Навіщо нирцю повітряна куля

Як відомо, свого часу повітряна куля була сконструйована для польотів людини «за хмари». Сьогодні завдяки розвитку техніки повітряні кулі й дирижаблі використовують не як транспортні засоби, а переважно для розваг. Реалізація ж самої ідеї в іншій галузі техніки дозволила створити *батискафи* — апарати для глибоководних досліджень. Найвідомішим з них став «Трієст», який у січні 1960 р. дістався найглибшої точки у Світовому океані — Маріанської западини.

Спробуємо уявити хід міркувань конструкторів батискафа. Якщо помістити повітряну кулю на поверхню моря й навантажити її надлишковим баластом, так щоб вся конструкція виявилася важчою за воду, то природно, що куля почне опускатися і через деякий час дістанеться дна. Якщо після цього скинути баласт, то куля спливе на поверхню. Проте це загальна ідея, а як її реалізувати на практиці? Інженерні рішення, використані у «Трієсті», зрозумілі з наведених фото.



Батискаф «Трієст»

Основний елемент конструкції батискафа — «повітряна куля» (1). Проте повітрям наповнювати таку кулю не слід, адже тиск на великій глибині її просто розчавить. Конструктори запропонували наповнити кулю бензином: по-перше, бензин легший за воду й не гірше від повітря забезпечить спливання апарата, по-друге, стінки кулі в такому випадку можна зробити досить тонкими, а отже, легкими, оскільки від деформування їх буде захищати нестисливість внутрішньої рідини. Гондола з товстими стінками (завтовшки 127 мм) (2) є надійним притулком для екіпажу з двох осіб. Баласт (залізний дріб) засипаний у ємності, які схожі на перевернені бідони з кришками (3) і закриваються електромагнітними замками (4).

Таке технічне вирішення забезпечує надійний захист дослідника й пілота у разі аварії. Живлення батискафа здійснюється від акумуляторів, які мають обмежений ресурс. Це означає, що через деякий час після аварії (наприклад, батискаф застряг на дні) акумулятори розрядяться й припинять постачати струм до електромагнітних замків. У результаті кришки відкриються, баласт упаде на дно, а батискаф спливе на поверхню. На щастя, цей запобіжний прийом так і не став у пригоді.

З моменту рекордного занурення «Трієста» пройшло майже півстоліття. За цей строк людство здійснило справжній прорив у багатьох галузях техніки, але конструкція «Трієста» залишилася неперевершеною.



Польоти на потязі, або Що таке маглев

Якщо чоловікові не вистачає сил переставити важку шафу, то він може прийняти стандартне рішення — збільшити силу, тобто запросити на допомогу сусіда.

А може згадати, що шафа погано рухається через велику силу тертя, і, покликавши сумлінного учня 8-го класу, разом з ним вигадати, як зменшити цю силу. У результаті вони, наприклад, можуть підкласти під кути (опори) шафи пластикові кришки, якими зазвичай закривають банки для консервування. Сила тертя зменшиться, і тепер зусиль однієї людини буде достатньо, щоб переставити шафу. Проте це приклад побутового рівня. А як розв'язують подібні завдання у разі створення складних технічних пристроїв?



Маглев-потяг у Шанхаї (Китай)

Щоб зменшити силу тертя, інженери зазвичай використовують різні мастила — речовини, які забезпечують більш легке ковзання дотичних поверхонь. А ще силу тертя ковзання можна зменшити, використавши відповідні стичні матеріали (згадайте приклад із шафою). Проте хоч як полегшуй ковзання, поверхні будуть стикатися й тертя залишиться. От якби та шафа могла літати над землею... тоді й першокласник зміг би її пересунути! І було придумано ось що.

Інженери, які винайшли *маглев* (скорочене від англ. *magnetic levitation* — «магнітна левітація»), напевне уважно вивчали фізику. Спробуємо переконатися.

Згадаємо: якщо взяти два магніти й зблизити їх однойменні полюси, магніти будуть відштовхуватися. А тепер проведемо уявний експеримент. Що буде, якщо потужний магніт розмістити, наприклад, на підставці, а зверху до нього однойменним полюсом піднести невеликий магніт? Якщо другий магніт буде досить легким, таким щоб сила магнітного відштовхування зрівноважила силу притягання Землі, то він має летати в повітрі!

Пристрої, які використовують описаний вище ефект, одержали загальну назву «маглев». Найбільш вражаючими, мабуть, є маглев-потяги. Під час руху такі потяги не торкаються колії — вони утримуються над нею потужними магнітами. Таким чином, тертя об опору є відсутнім, і перешкоджає руху маглев-потягів тільки опір повітря (як і літакам!). Саме тому швидкість руху маглев-потяга можна порівняти зі швидкістю руху літака (до 500 км/год).

Теми рефератів і повідомлень

1. Інертність у техніці та побуті.
2. Еволюція важільних терезів.
3. Г. Галілей і І. Ньютон. Відкриття законів механіки.
4. Що таке тверде мастило?
5. Чи заважатиме невагомість у повсякденному житті?
6. Без сили тертя немає життя.
7. Способи збільшення та зменшення тертя в живій природі.
8. Життя і досягнення Блеза Паскаля.
9. Демонстрація сили тиску атмосферного повітря: вражаючий дослід бургомістра Магдебурга Отто фон Геріке.
10. Гідравлічні машини.
11. Гальма автомобіля як гідравлічна машина.
12. Глибини, підкорені аквалангістами. Заходи безпеки під час підкорення морських глибин.
13. Апарати для вивчення морських і океанських глибин.
14. Легенди й міфи про життя Архімеда.
15. Склад атмосфери та значення атмосферного тиску на планетах Сонячної системи.
16. Історія польотів на повітряних кулях.
17. Від повітряної кулі до сучасних літаків.
18. Від стародавніх вітрильників до сучасних океанських лайнерів.
19. Видатний конструктор українського походження І. І. Сікорський.
20. Інтернет-дирижаблі.

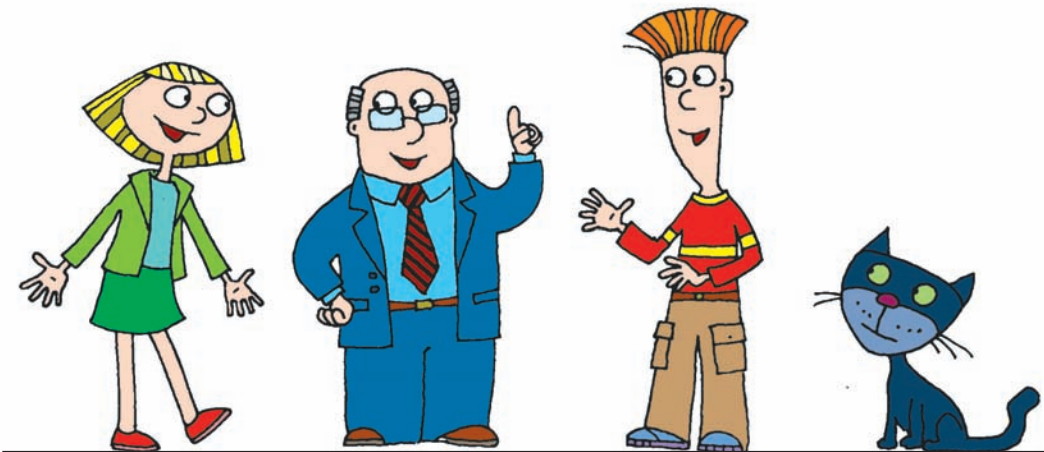
Теми експериментальних досліджень

1. Вимірювання густини рідини ареометром, виготовленим із підручних засобів.
2. Визначення коефіцієнта тертя між компонентами сипких будівельних матеріалів.
3. Моделювання процесу утворення снігових лавин за допомогою підручних сипучих речовин: пшона, манки, муки тощо.
4. Створення моделі фонтана й демонстрація його дії.
5. Створення моделі «Барометр для риболовлі».
6. Моделювання плавання суден за допомогою хатнього посуду.
7. Створення моделі для демонстрації закону Паскаля.

РОЗДІЛ 4

МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

- Ви знаєте, як виміряти силу і шлях, а дізнаєтесь, як визначити роботу
- Ви маєте уявлення про потужні двигуни, а будете розуміти, як розрахувати їхню потужність
- Ви знаєте, що існують механічна, електрична, атомна енергії, а дізнаєтесь, яку енергію має тіло, що рухається, а яку — тіло, що взаємодіє
- Ви знаєте, що для отримання виграшу в силі людина використовує прості механізми, а дізнаєтесь, на яких законах ґрунтується дія цих механізмів
- Ви чули про коефіцієнт корисної дії, а будете знати, як його можна збільшити



§ 34. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ОДИНИЦІ РОБОТИ

На перший погляд, навести приклади ситуацій, коли виконується робота, дуже просто. Роботу виконують вода і повітря, машини і механізми, будівельники і вантажники. А чи виконує роботу учень, який нерухомо тримає в руках важкий портфель? програміст, який, сидячи за комп'ютером, розв'язує задачу? І взагалі, що мають на увазі фізики, коли говорять про механічну роботу?

1 Визначаємо фізичний зміст роботи

Словом «робота» ми зазвичай називаємо корисну дію людини або якогось пристрою. Наприклад, ми кажемо: тесляр за роботою, робота телевізора. Однак у фізиці термін «робота» має більш строго визначений зміст.

Про *механічну роботу* говорять тоді, коли *тіло змінює своє положення в просторі під дією сили*. Розглянемо, наприклад, рух баржі, яку тягне буксир (рис. 34.1). Буксир діє на баржу з певною силою — силою тяги ($\vec{F}_{\text{тяги}}$). Вантаж, розташований на баржі, також діє на баржу — тисне на неї із силою тиску ($\vec{F}_{\text{тиску}}$).

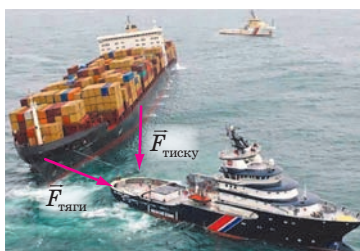


Рис. 34.1. Буксир діє на баржу і переміщує її. Вантаж також діє на баржу, але під його дією баржа не переміщується



Рис. 34.2. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), відомий англійський фізик, експериментально довів закон збереження енергії, визначив механічний еквівалент теплоти

Фізики в таких випадках кажуть: сила тяги виконує механічну роботу, тому що баржа рухається в напрямку сили тяги, а от сила тиску механічної роботи не виконує, тому що в напрямку сили тиску (тобто вниз) баржа не рухається.

Чим більший шлях пройде баржа під дією сили тяги, тим більшу механічну роботу виконає ця сила. Механічна робота збільшиться і в разі зростання сили тяги: це станеться, якщо, наприклад, на баржу покласти додатковий вантаж або змусити буксир з баржею рухатися з більшою швидкістю. Узагалі механічна робота, яку виконує певна сила, залежить від значення сили та шляху, який тіло пройде під дією цієї сили.

Механічна робота — це фізична величина, яка характеризує зміну стану тіла під дією сили і дорівнює добутку сили на шлях, пройдений тілом у напрямку цієї сили:

$$A = Fl,$$

де A — механічна робота, F — значення сили, що діє на тіло; l — шлях, який пройшло тіло в напрямку цієї сили.

Одиниця роботи в СІ — **джоуль** (Дж); названа так на честь англійського вченого *Джеймса Джоуля* (рис. 34.2):

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

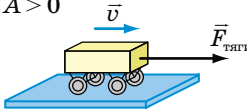
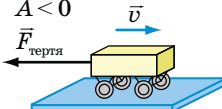
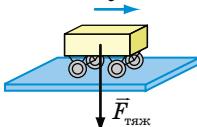
1 Дж дорівнює механічній роботі, яку виконує сила 1 Н, переміщуючи тіло на 1 м в напрямку дії цієї сили:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

Зверніть увагу! Оскільки сила діє на тіло з боку іншого тіла (буксир тягне баржу), не буде помилки, якщо говорити не про *роботу сили* (роботу сили натягу троса), а про *роботу тіла* (роботу буксира).

2 З'ясуємо, яких значень може набувати механічна робота

Як ви знаєте, сила має напрямок — це векторна величина. А от робота сили напрямку немає, тобто робота є величиною скалярною. Але робота може бути додатною, від'ємною або дорівнювати нулю — залежно від того, куди напрямлена сила відносно напрямку руху тіла:

Робота є додатною, $A > 0$	Робота є від'ємною, $A < 0$	Робота дорівнює нулю, $A = 0$
Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла $A = Fl$	Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла $A = -Fl$	Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла $A = 0$
$A > 0$ 	$A < 0$ 	$A = 0$ 

Наприклад, автомобіль рухається горизонтальною ділянкою дороги. На нього діють сила тяжіння, сила реакції опори, сила тяги двигунів, сила опору рухові. Сила тяги виконує додатну роботу, сила опору — від'ємну; робота сили тяжіння і робота сили реакції опори дорівнюють нулю.

3 Дізнаємося про геометричний зміст роботи

Нехай тіло рухається під дією незмінної сили \vec{F} , напрямок якої весь час збігається з напрямком руху тіла. Побудуємо графік залежності значення цієї сили F від шляху l , який долає тіло (рис. 34.3).

Робота такої сили дорівнює добутку сили на шлях: $A = Fl$. Бачимо, що добуток $F \cdot l$ є добутком довжини і ширини прямокутника під графіком залежності сили від шляху, тобто відповідає площі S цього прямокутника. У цьому полягає геометричний зміст механічної роботи:

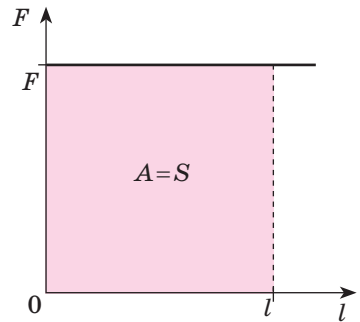


Рис. 34.3. Графік залежності незмінної сили F від шляху l являє собою пряму, паралельну осі шляху

Якщо напрямок сили, яка діє на тіло, збігається з напрямком руху тіла, то робота цієї сили чисельно дорівнює площі фігури під графіком залежності сили від шляху, який долає тіло.

Це твердження поширюється й на випадки, коли сила є змінною (рис. 34.4).



Рис. 34.4. Щоб обчислити роботу A змінної сили F під час руху тіла в напрямку дії цієї сили, слід обчислити площу S фігури під графіком залежності сили від шляху

4

Учимося розв'язувати задачі

Задача. Під дією пружини жорсткістю 25 Н/м брусок пересувають по столу з незмінною швидкістю 5 см/с . Яку роботу виконає сила пружності за 20 с , якщо видовження пружини дорівнює 4 см ?

Дано:

$$k = 25 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$v = 5 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$$x = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

A — ?

Аналіз фізичної проблеми. Робота є додатною, оскільки брусок рухається в напрямку дії сили. Щоб обчислити роботу, потрібно знайти силу пружності та шлях, який подолав брусок. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання. За визначенням: $A = Fl$.

Силу, що діє на брусок, знайдемо за законом Гука: $F = kx$.

Брусок рухається рівномірно, тому шлях, який подолав брусок, дорівнює: $l = vt$.

Підставимо вирази для F і l у формулу роботи й остаточно отримаємо: $A = kx \cdot vt$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[A] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж};$$

$$A = 25 \cdot 0,04 \cdot 0,05 \cdot 20 = 1 \text{ (Дж)}.$$

Відповідь: сила виконає роботу 1 Дж .



Підбиваємо підсумки

Механічною роботою називають фізичну величину, яка характеризує зміну стану тіла. Якщо сила є незмінною і діє в напрямку руху тіла, механічна робота обчислюється за формулою: $A = Fl$.

Одиниця механічної роботи в СІ — джоуль (Дж); $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$.

Залежно від напрямку сили та напрямку руху тіла механічна робота може бути додатною, від'ємною або дорівнювати нулю.



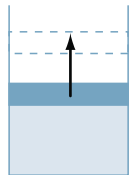
Контрольні запитання

1. Що ми розуміємо під словом «робота» в повсякденному житті?
2. Що таке механічна робота з точки зору фізики?
3. Які умови є необхідними для виконання механічної роботи?
4. Як залежить значення механічної роботи від сили та шляху, який пододало тіло в напрямку цієї сили?
5. Назвіть одиниці роботи в СІ.
6. На честь якого вченого дістала свою назву одиниця роботи?
7. Що таке джоуль?
8. У яких випадках механічна робота є додатною? від'ємною? дорівнює нулю?
9. У чому полягає геометричний зміст механічної роботи?



Вправа № 34

1. Вантаж нерухомо висить на пружині. Чи виконує роботу сила пружності, яка діє на нього? Чи виконує роботу сила тяжіння?
2. Визначте, чи виконує роботу сила тяжіння, що діє на баскетбольний м'яч, який: а) лежить на землі; б) котиться підлогою спортивної зали; в) летить угору; г) падає. Якщо виконує, то яку — додатну чи від'ємну?
3. Наведіть приклади ситуацій (не розглянутих у параграфі), коли сила, яка діє на тіло, виконує додатну роботу; виконує від'ємну роботу; не виконує роботи.
4. Супутник рухається навколо Землі коловою орбітою. Чи виконує роботу сила тяжіння, яка діє на супутник?
5. Прикладаючи горизонтальну силу 50 Н, поверхнею стола протягли з незмінною швидкістю вантаж. При цьому було виконано роботу 150 Дж. Який шлях подолав вантаж?
6. Камінь масою 4 кг падає з висоти 5 м. Яка сила виконує додатну роботу під час падіння каменя? Чому дорівнює ця робота?
7. Хлопчик веде велосипед, прикладаючи горизонтальну силу 40 Н. При цьому велосипед рухається рівномірно. Визначте швидкість руху велосипеда, якщо за 5 хв хлопчик виконав роботу 12 кДж.
8. Під тиском газу поршень у циліндрі рівномірно пересунувся на 4 см (див. рисунок). Яку роботу виконав газ? Тиск газу в циліндрі є незмінним і становить 0,6 МПа; площа поршня дорівнює 0,005 м².
9. Складіть задачу, обернену до задачі, поданій у параграфі, та розв'яжіть її.
10. Яку роботу треба виконати, щоб підняти з дна на поверхню озера камінь масою 15 кг? Глибина озера становить 2 м, середня густина каменя — 3000 кг/м³. Опором води знехтуйте.
11. Перенесіть до зошита таблицю, заповніть її. Вважайте, що тіла рухалися в напрямку, який збігається з напрямком осі Ox ; числові значення фізичних величин, які входять до рівняння руху, надані в одиницях СІ.



Рівняння руху	Координата тіла		Фізичні величини		
	початкова	кінцева	Швидкість руху	Час руху	Модуль переміщення
$x = 200 + 25t$				10 с	
	-300		5	30 с	
$x = 2 + 0,5t$					4 м



Експериментальне завдання

Визначте роботу, яку ви виконуєте, піднімаючи з підлоги на стілець відерце з водою. Яку роботу при цьому виконує сила тяжіння, що діє на відерце? За можливості зробіть фотографію досліду. Оформте звіт, у якому зазначте, які прилади ви використовували для визначення роботи, які вимірювання та розрахунки здійснювали, які результати отримали.

Фізика і техніка в Україні



Видатний український вчений-астроном **Микола Павлович Барабашов** (1894–1971) майже все своє життя мешкав у Харкові. Світове визнання йому принесли дослідження Марса і Венери. Зокрема, М. П. Барабашов відкрив так звані «полярні шапки» на Марсі, виявив кристали льоду в атмосфері Венери.

Учений зробив також величезний внесок у дослідження Місяця. Ще задовго до перших космічних польотів на наш природний супутник М. П. Барабашов висунув гіпотезу про

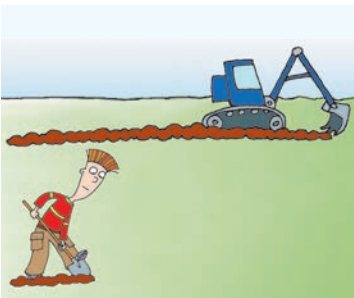
склад гірських порід на Місяці. Після досліджень, проведених за допомогою роботів-місяцеходів, гіпотеза науковця блискуче підтвердилась.

М. П. Барабашов був одним з авторів і редактором першого «Атласу зворотної сторони Місяця», який був складено за фотографіями, отриманими автоматичною міжпланетною станцією «Місяць-3».

§ 35. ПОТУЖНІСТЬ

Можливо, відправною точкою в розвитку людської цивілізації став час, коли людина почала виготовляти прості знаряддя та зброю, будувати примітивне житло, орати землю. Спочатку вона використовувала для виконання роботи тільки м'язову силу своїх рук, потім — силу свійських тварин: коней, волів, вислюків, верблюдів. Це дозволило за менший час і з меншими зусиллями виконувати ту саму роботу.

Але справжній прорив стався завдяки використанню машин і механізмів — автомобілів, суден, потягів, кранів, екскаваторів тощо. Сучасні машини можуть виконувати роботу в тисячі разів швидше за людину. Яка ж характеристика машин є показником їхньої ефективності?



1 Знайомимося з фізичною величиною «потужність»

Різним виконавцям для здійснення тієї самої роботи потрібен різний час. Так, якщо екскаватор і грабар одночасно розпочнуть копати траншеї (рис. 35.1), то зрозуміло, що екскаватор виконає роботу значно швидше за грабаря. Так само кран швидше за вантажника перенесе потрібну кількість цеглин; трактор швидше за коня зоре поле. Немає сумнівів, що кожен з нас може навести ще багато подібних прикладів.

Швидкість виконання роботи у фізиці характеризують *потужністю*.

Рис. 35.1. Екскаватор виконує ту саму роботу в декілька разів швидше за грабаря

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано:

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

де N — потужність, A — робота; t — час, за який цю роботу виконано.

Одиниця потужності в СІ — ват:

$$[N] = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Ця одиниця дістала свою назву на честь британського інженера та винахідника-механіка *Дж. Ватта** (рис. 35.2).

1 Вт — це така потужність, за якої протягом 1 с виконується робота 1 Дж:

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Із визначення потужності випливає, що *потужність чисельно дорівнює роботі, яку виконано за одну секунду*.

Таким чином, під час виконання механічної роботи більшу потужність розвиває те тіло, яке за той самий час виконує більшу роботу. Наприклад, двигун літака АН-225 потужніший за двигун літака АН-140 у 28 разів (див. таблицю), оскільки за 1 с він виконує роботу 52 000 кДж, а двигун літака АН-140 — лише 1850 кДж.

Потужність двигунів деяких технічних засобів

Технічний засіб	Потужність, кВт
Пральні машини	0,15–0,90
Пилососи	1,3–2,0
Моторолери (скутери)	3,0–7,5
Мотоцикли	11–74
Легкові автомобілі	37–150
Вантажні автомобілі	35–515



Рис. 35.2. Джеймс Ватт (1736–1819), британський винахідник-механік, творець універсальної парової машини

Технічний засіб	Потужність, кВт
Трактори	45–260
Гелікоптери	425–7350
Літак АН-140 (1 двигун)	1850
Літак АН-225 «Мрія» (1 двигун)	52 000
Ракета-носіє «Протон»	$\approx 4,4 \cdot 10^7$
Ракета-носіє «Енергія»	$\approx 1,25 \cdot 10^8$

*i** Як одиницю потужності Джеймс Ватт увів *кінську силу*, яка і зараз використовується в техніці: 1 к.с. $\approx 735,5$ Вт.

2 З'ясуємо, як потужність залежить від сили та швидкості руху

Припустимо, що нам треба визначити потужність транспортного засобу, який рухається з незмінною швидкістю v , і якщо відома сила тяги F його двигуна.

Для визначення потужності скористаємося формулою: $N = \frac{A}{t}$.

Згадаємо формулу для розрахунку роботи: $A = F \cdot l$, а також те, що в разі рівномірного руху шлях l , який пододало тіло, дорівнює добутку швидкості руху тіла на час його руху: $l = v \cdot t$. Після перетворень маємо:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot l}{t} = \frac{F \cdot v \cdot t}{t} = F \cdot v.$$

Отже, отримано формулу для обчислення потужності:

$$N = Fv$$

Зверніть увагу! Ця формула дозволяє розрахувати також миттєву потужність (тобто потужність у певний момент часу) будь-якого транспортного засобу, навіть якщо швидкість його руху і сила тяги його двигуна безперервно змінюються.

3 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Людина рівномірно піднімає відро з водою на висоту 20 м за 20 с. Яку потужність розвиває людина, якщо маса відра з водою дорівнює 10 кг?

Дано:

$$h = 20 \text{ м}$$

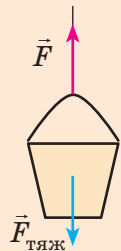
$$t = 20 \text{ с}$$

$$m = 10 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$N = ?$

Аналіз фізичної проблеми. Щоб визначити потужність, треба розрахувати роботу, яку виконала людина, піднімаючи відро на певну висоту. Для цього слід знайти значення сили \vec{F} , з якою людина діє на відро. На відро діють дві сили: сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ і сила \vec{F} (див. рисунок). Відро рухається рівномірно, тому ці сили скомпенсовані: $F = F_{\text{тяж}}$. За цих умов і знайдемо шукане значення сили. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.



Пошук математичної моделі, розв'язання. За визначенням потужності: $N = \frac{A}{t}$.

Робота, яку виконала людина: $A = Fl$.

Оскільки $F = F_{\text{тяж}} = mg$, а $l = h$, то робота людини $A = mgh$.

Підставивши вираз для роботи у формулу потужності, отримуємо:

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

Перевіримо одиницю шуканої величини, знайдемо її значення:

$$[N] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{с}}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}; \quad N = \frac{10 \cdot 10 \cdot 20}{20} = 100 \text{ (Вт)}.$$

Відповідь: людина розвиває потужність 100 Вт.



Підбиваємо підсумки

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано: $N = \frac{A}{t}$.

Одиниця потужності в СІ — ват (Вт); $1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$.

Потужність також можна обчислити за формулою: $N = Fv$.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення потужності.
2. Назвіть одиниці потужності в СІ.
3. Що таке ват?
4. Яку позасистемну одиницю потужності ви знаєте?
5. Як визначити потужність, яку розвиває тіло, якщо відомі сила, що діє на тіло, і швидкість руху тіла?



Вправа № 35

1. Першокласник і одинадцятикласник за однаковий час піднялися сходами з першого поверху на другий. Хто з них розвинув під час руху більшу потужність?
2. Рухаючись горизонтально ділянкою дороги, автомобіль під'їхав до підйому (рис. 1). Чи зміниться швидкість руху автомобіля за незмінної потужності двигуна?
3. Горизонтальні ділянки дороги чергуються з підйомами та спусками. Як має змінюватися потужність двигуна під час подолання автомобілем цих ділянок, якщо автомобіль рухається з незмінною швидкістю?
4. Хлопчик, піднімаючись сходами, розвинув потужність 160 Вт. Яку роботу виконав хлопчик за 20 с?
5. За який час двигун автомобіля, розвиваючи потужність 150 кВт, виконає роботу 900 кДж?
6. Загальна потужність двигунів літака становить 10 МВт. Визначте силу опору рухові, якщо літак рухається з незмінною швидкістю 720 км/год.
7. Складіть задачу, обернену до задачі, поданій у параграфі, та розв'яжіть її.
8. На графіку (рис. 2) подано залежність сили тяги мотоцикла від шляху, який він долає за 2 хв руху. Визначте середню потужність двигуна мотоцикла.
9. «Три ущелини» — найпотужніша гідроелектростанція у світі, розташована в Китаї. Вона може замінити 9 атомних електростанцій середньої потужності. Висота її греблі дорівнює 180 м, потужність водного потоку становить 22,5 ГВт. Знайдіть об'єм води, що падає з греблі за хвилину.



Рис. 1

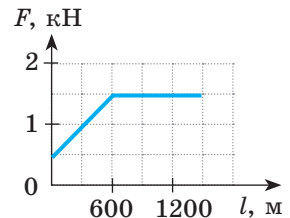


Рис. 2

10. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою та складіть 1–2 задачі за темою цього параграфа. Розв'яжіть складені задачі; умови і розв'язання оформте на окремому аркуші.

11. Уявіть, що вам необхідно виміряти потужність двигуна, який використовують для підйому вантажу. Які фізичні величини ви будете вимірювати? Які прилади вам знадобляться? Як ви оціните похибку вимірювання?

12. Перенесіть до зошита таблицю, заповніть її. Вважайте, що $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



Фізичні величини			Формула для розрахунку фізичної величини
Маса тіла	Висота, з якої падає тіло	Робота сили тяжіння	
1,25 кг	2 м		
	1 м	150 кДж	
200 г		1,8 Дж	

Фізика і техніка в Україні



Ігор Рафаїлович Юхновський (народ. 1925 р.) — учений в галузі теоретичної фізики, засновник львівської наукової школи статистичної фізики, один із засновників Західного наукового центру НАН України, громадський діяч, академік Національної академії наук України, Герой України.

Після закінчення фізико-математичного факультету Львівського державного університету ім. Івана Франка, Ігор Рафаїлович продовжив навчання в аспірантурі цього університету на кафедрі теоретичної фізики. Саме тут він пройшов шлях від аспіранта до професора — завідувача кафедри. Ігор Рафаїлович і його учні отримали фундаментальні результати в мікроскопічній теорії електролітів, теорії металів і сплавів, теорії рідкого гелію, теорії фазових переходів.

У 1990 році І. Р. Юхновський створив Інститут фізики конденсованих систем НАНУ (м. Львів). Яскраві досягнення вченого й очолюваного ним колективу отримали широке визнання в науковому світі.

§ 36. ЕНЕРГІЯ. ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ ТІЛА

Слово «енергія» можна почути в телевізійних репортажах, побачити на шпальтах газет тощо. Ним можна скористатися для характеристики людей (енергійна людина), природних явищ (енергія землетрусу чи урагану), машин і механізмів (енергія електроенергія, яку вони споживають). А що ж таке енергія з точки зору фізики?

1 Дізнаємося, що таке енергія і як вона пов'язана з механічною роботою

Енергія (у перекладі з грецької це слово означає «діяльність») — це одна з найважливіших і водночас одна з найскладніших фізичних величин.

Ви безумовно знаєте такі поняття, як «внутрішня енергія», «електрична енергія», «енергія світла», «атомна енергія», — усе це різні види енергії. У механіці ми маємо справу з *механічною енергією* і будемо користуватися таким визначенням:

Енергія — це фізична величина, яка характеризує здатність тіла (системи тіл) виконувати роботу.

Енергію позначають символом W (або E). *Одиниця енергії в СІ, як і роботи, — джоуль:*

$$[W] = \text{Дж}.$$

Продемонструємо здатність тіла виконувати механічну роботу. Розташуємо маленьку кульку на краю стола, а на підлозі поставимо посудину з водою. Якщо зіштовхнути кульку зі стола, то вона полетить униз, упаде у воду й розхлюпає частину рідини. Поява бризок означає, що кулька виконала певну роботу. Якщо ж кульки не торкатися, вона залишиться лежати на столі. Отже, енергія кульки може бути реалізована виконанням роботи під час падіння або збережеться до «ліпших часів».

На рис. 36.1, а зображений хлопчик, який тримає камінь на деякій висоті. Камінь має певну енергію, однак він не рухається й тому механічну роботу *не виконує*. Але якщо камінь відпустити, він упаде і розколе горіх, тобто виконає роботу (рис. 36.1, б). При цьому висота, на якій розташований камінь, *зменшиться*.

На рис. 36.2 міцна мотузка втримує деформовану балку катапульти. Балка *роботу не виконує, але може виконати*, якщо мотузку відпустити: розпрямляючись, балка надасть швидкості металевому снаряду. При цьому деформація балки *зменшиться*.

Багатьом із вас, напевно, доводилося бачити, як грають у боулінг. Кулю пускають горизонтальною гладенькою доріжкою. Від моменту кидка до влучення в кеглі куля рухається практично за інерцією і роботу *не виконує*. Але потім, коли куля розкидає кеглі, вона *виконує певну роботу* (рис. 36.3) і *зменшує швидкість свого руху*.



Рис. 36.1. Хлопчик тримає камінь на певній висоті (а). Камінь має механічну енергію, тобто може виконати механічну роботу, наприклад розколоти горіх (б)

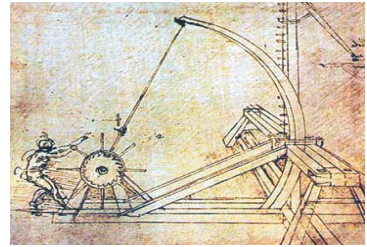


Рис. 36.2. Деформована балка катапульти має механічну енергію: якщо мотузку звільнити, балка розпрямиться і надасть швидкості металевому снаряду, тобто виконає роботу (рисунок Леонардо да Вінчі)



Рис. 36.3. Куля, яка рухається доріжкою, має механічну енергію, оскільки може виконати роботу — збити кеглі



Рис. 36.4. Піднімаючи цеглини, вантажник виконує механічну роботу, яка дорівнює зміні енергії цеглин

Згадаємо бурульку, що звисає з даху, шайбу, яка ковзає по льоду, натягнуту тятиву лука. Усе це приклади тіл, які здатні виконати роботу, тобто тіл, які мають певну механічну енергію. Чим більшу роботу може виконати тіло, тим більшою енергією це тіло володіє.

Механічна робота є мірою зміни енергії тіла.

Так, коли вантажник на будівництві піднімає цеглини, енергія цеглин збільшується на значення виконаної вантажником роботи (рис. 36.4).

2 Знайомимося з потенціальною енергією тіла, піднятого над поверхнею Землі

Підняте над поверхнею Землі тіло має певну енергію, що зумовлена притяганням цього тіла до Землі. Таку енергію називають *потенціальною* (від латин. *potentia* — сила, можливість).

Потенціальна енергія $W_{\text{п}}$ — це енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин тіла.

Спробуємо визначити потенціальну енергію тіла, яке притягається до Землі. Щоб рівномірно підняти тіло масою m на висоту h над поверхнею Землі, потрібно виконати роботу $A = Fl$. Оскільки $F = F_{\text{тяж}} = mg$, а $l = h$ (рис. 36.5), то робота з піднімання тіла $A = mgh$.

Механічна робота є мірою зміни енергії тіла. Якщо значення потенціальної енергії тіла на поверхні Землі вважати рівним нулю, то на висоті h потенціальна енергія тіла буде більшою від нуля на значення роботи ($A = mgh$), отже, $W_{\text{п}} = mgh$.

Потенціальна енергія тіла, піднятого над поверхнею землі, дорівнює добутку маси m тіла, прискорення вільного падіння g і висоти h , на якій розташоване тіло:

$$W_{\text{п}} = mgh$$

Потенціальна енергія тіла залежить від висоти, на якій перебуває це тіло, — отже, *вибір нульового рівня (рівня, від якого буде вимірюватися висота) суттєво впливає на значення потенціальної енергії* (рис. 36.6).

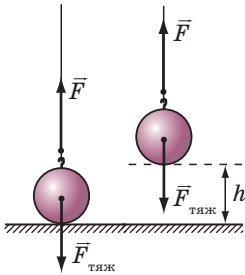


Рис. 36.5. Для рівномірного підняття тіла до цього тіла потрібно прикласти силу, яка за значенням дорівнює силі тяжіння ($F = F_{\text{тяж}}$) і напрямлена вгору



Рис. 36.6. Потенціальна енергія книжки, розташованої на четвертій полиці, відносно підлоги є більшою, ніж відносно другої полиці

3 Доводимо, що пружно деформовані тіла мають потенціальну енергію

У пружно деформованому тілі частини тіла взаємодіють силами пружності. Якщо це тіло звільнити, то сили пружності повернуть його до початкового, недеформованого, стану виконавши механічну роботу. Отже, пружно деформоване тіло має потенціальну енергію (рис. 36.7).



Рис. 36.7. Чим більше деформована (натягнена) тятива лука, тим більшою є її потенціальна енергія

Потенціальна енергія пружно деформованої (розтягнутої або стисненої) пружини обчислюється за формулою: $W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість пружини, x — видовження пружини.

Потенціальна енергія пружно деформованої пружини використовується для виконання роботи в більшості механічних годинників, автоматичних клапанах, для автоматичного закриття дверей тощо (рис. 36.8).

4 З'ясуємо зв'язок між роботою і зміненням потенціальної енергії тіла

Якщо під дією сили тяжіння або сили пружності тіло виконує механічну роботу, його потенціальна енергія збільшується або зменшується.

Так, під дією сили тяжіння камінь, що падає (див. рис. 36.1), виконує додатну механічну роботу, і його потенціальна енергія зменшується. У разі виконання силою тяжіння від'ємної механічної роботи, наприклад під час підйому цеглини (див. рис. 36.5), потенціальна енергія цеглини збільшується. Тобто додатна робота відповідає зменшенню потенціальної енергії тіла, а від'ємна — зростанню. Отже, ми дійшли важливого висновку:

Робота сили тяжіння і сили пружності дорівнює різниці початкової і кінцевої потенціальної енергії тіла:

$$A = W_{\text{п}0} - W_{\text{п}},$$

де A — механічна робота; $W_{\text{п}0}$ — початкова потенціальна енергія тіла; $W_{\text{п}}$ — кінцева потенціальна енергія тіла.

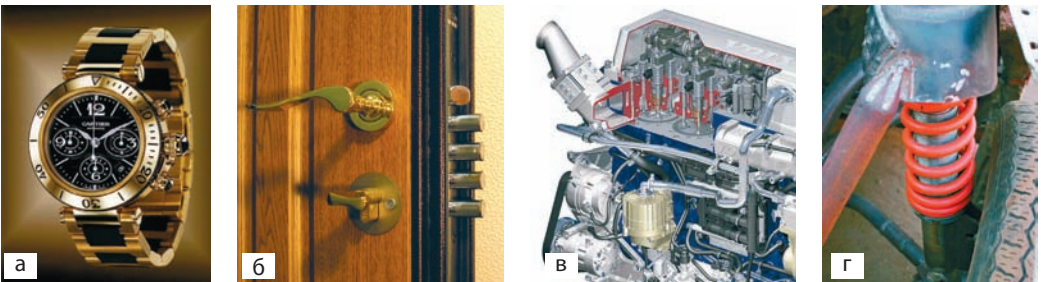


Рис. 36.8. Властивість деформованої пружини «запасати» потенціальну енергію, а потім за її рахунок виконувати механічну роботу використовують в багатьох механізмах: механічних годинниках (а); дверних замках (б); клапанах автомобільних двигунів (в); амортизаторах автомобілів (г) тощо

**Підбиваємо підсумки**

Якщо тіло (або система тіл) може виконати механічну роботу, то кажуть, що воно (вона) має енергію. Механічна робота є мірою зміни енергії тіла.

Енергія позначається символом W або E . Одиницею енергії в СІ, як і роботи, є джоуль (Дж).

Енергію, зумовлену взаємодією тіл або частин одного тіла, називають потенціальною енергією. Потенціальну енергію мають пружно деформоване тіло і тіло, підняте над поверхнею Землі.

Потенціальну енергію піднятого над поверхнею Землі тіла можна обчислити за формулою: $W_{\text{п}} = mgh$, де m — маса тіла; g — прискорення вільного падіння; h — висота, на якій розташовано тіло, відносно нульового рівня.

Потенціальна енергія пружно деформованої (розтягнутої або стисненої) пружини обчислюється за формулою: $W_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість пружини, x — видовження пружини.

**Контрольні запитання**

1. Що означає «тіло (або система тіл) має енергію»?
2. Назвіть одиниці енергії в СІ.
3. Наведіть приклади на підтвердження того, що під час виконання роботи енергія тіла змінюється.
4. Що таке потенціальна енергія?
5. За якою формулою можна визначити потенціальну енергію тіла, піднятого на висоту h над поверхнею Землі?
6. Які тіла, крім тих, що підняті над поверхнею Землі, мають потенціальну енергію?
7. Як пов'язані робота та зміна потенціальної енергії тіла?
8. Чи залежить значення потенціальної енергії тіла, піднятого над Землею, від вибору початкового рівня відліку висоти?

**Вправа № 36**

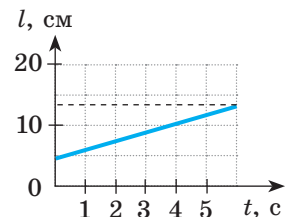
1. Наведіть приклади тіл, що мають потенціальну енергію.
2. Опишіть, як змінюється потенціальна енергія літака під час зльоту та посадки.
3. Обчисліть потенціальну енергію портфеля, який лежить на парті, відносно підлоги. Маса портфеля — 3 кг, висота парті — 80 см.
4. Людина витягла з колодязя завглибшки 12 м відро з водою масою 10 кг і поставила його на лаву висотою 1 м. Порівняйте потенціальну енергію відра до і після підняття. Збільшилася вона чи зменшилася? На скільки?
5. Цеглина масою 5 кг має потенціальну енергію 20 Дж. На якій висоті над підлогою розташована цеглина, якщо за нульовий рівень узято поверхню підлоги?
6. Скористайтесь Інтернетом або додатково літературою і знайдіть опис пристрою, дія якого ґрунтується на змінненні потенціальної енергії. Зробіть стисле повідомлення.



7. Подайте в метрах на секунду: 36 км/год, 9 км/год, 108 км/год.



8. За графіком шляху (див. [рисунок](#)) визначте швидкість руху тіла. Відповідь подайте в метрах на секунду.





Експериментальне завдання

Придумайте і проведіть декілька дослідів на підтвердження того, що пружне деформоване тіло має потенціальну енергію. Зробіть фотозвіт або опишіть досліди в зошиті, доповнивши опис пояснювальними рисунками.

§ 37. КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ ТІЛА. ПОВНА МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

Із телевізійних новин вам напевне відомі наслідки таких стихійних лих, як шторми й урагани. Так, ураганний вітер ламає опори електромереж, вириває з корінням дерева, руйнує будівлі. А чи відомо вам, за рахунок якої енергії це відбувається?



1

Знайомимося з кінетичною енергією тіла

Згадаємо приклад із кулею в боулінгу: вона котиться, розкидає в різні боки кеглі й зменшує швидкість свого руху. При цьому куля виконує механічну роботу, тому механічна енергія кулі зменшується. Однак потенціальна енергія кулі до і після зіткнення з кеглями залишається незмінною, адже весь час куля перебувала на тій самій висоті — змінювалася тільки швидкість її руху. Отже, енергія, яка дозволила кулі виконати роботу, була зумовлена рухом кулі. У фізиці цю енергію називають *кінетичною* (у перекладі з грецької це слово означає «рухатися»).

Кінетична енергія залежить від *маси* і *швидкості руху* тіла. Так, із двох куль, які рухаються з однаковою швидкістю, куля більшої маси відштовхне той самий брусок на більшу відстань (рис. 37.1), тобто виконає більшу роботу.

Якщо кулі мають однакову масу, то більшу роботу виконує та куля, яка рухається з більшою швидкістю (рис. 37.2).

У фізиці визначена певна *залежність кінетичної енергії від маси і швидкості руху тіла*.

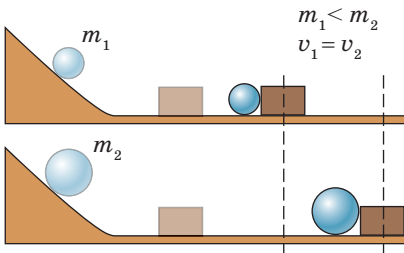


Рис. 37.1. Чим більшою є маса кулі, тим більшу кінетичну енергію вона має і тому може виконати більшу роботу

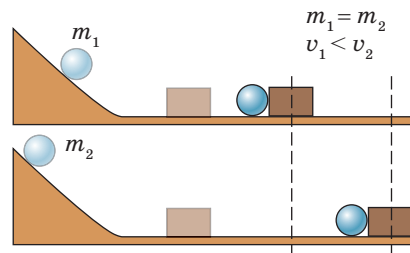


Рис. 37.2. Чим більшою є швидкість руху кулі, тим більшу кінетичну енергію вона має і тому може виконати більшу роботу

Кінетична енергія — це енергія, яка зумовлена рухом тіла і дорівнює половині добутку маси тіла на квадрат швидкості його руху:

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2},$$

де $W_{\text{к}}$ — кінетична енергія тіла; m — маса тіла; v — швидкість руху тіла.

Кінетична енергія того самого тіла для різних спостерігачів може бути різною, оскільки відносно них різною може бути швидкість руху цього тіла (рис. 37.3, 37.4).



Рис. 37.3. Відносно туриста камінь не має кінетичної енергії, а відносно велосипедиста, який стрімко наближається, — має



Рис. 37.4. Відносно пасажира потяга, що рухається, кінетична енергія журналу дорівнює нулю, а відносно людини на платформі журнал має кінетичну енергію



2 Знаходимо зв'язок між роботою і зміною кінетичної енергії тіла

Спостерігатимемо за зміною швидкості руху тіла, на яке діє тільки одна сила \vec{F} . Якщо напрямки дії сили та руху тіла збігаються, то сила виконує додатну роботу і швидкість руху тіла збільшується. Якщо сила напрямлена протилежно руху тіла, то робота сили є від'ємною і швидкість руху тіла зменшується. Інакше кажучи, додатна робота сили \vec{F} спричиняє збільшення кінетичної енергії тіла, а від'ємна — її зменшення.

Існує така *закономірність*:

Робота сили, що діє на тіло, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла:

$$A = W_{\text{к}} - W_{\text{к}0},$$

де A — робота сили; $W_{\text{к}0} = \frac{mv_0^2}{2}$ — початкова кінетична енергія тіла; $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ — кінцева кінетична енергія тіла.

3 Даємо визначення повної механічної енергії тіла

Доволі часто тіло має як потенціальну, так і кінетичну енергії. Наприклад, літак, що летить над Землею на деякій висоті, має і потенціальну енергію (бо взаємодіє із Землею), і кінетичну енергію (бо рухається).

Суму потенціальної і кінетичної енергій тіла називають **повною механічною енергією тіла**:

$$W_{\text{повна}} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$$



Підбиваємо підсумки

Енергію, яка зумовлена рухом тіла, називають кінетичною енергією $W_{\text{к}}$.

Кінетичну енергію тіла обчислюють за формулою $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$, де m — маса тіла; v — швидкість руху тіла.

Робота сили, що діє на тіло, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла: $A = W_{\text{к}} - W_{\text{к}0}$.

Суму потенціальної і кінетичної енергій тіла називають повною механічною енергією тіла: $W_{\text{повна}} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$.



Контрольні запитання

1. Що таке кінетична енергія тіла?
2. За якою формулою можна розрахувати кінетичну енергію тіла?
3. Чому кінетична енергія того самого тіла може бути різною для різних спостерігачів?
4. Яким є зв'язок між роботою та зміною кінетичної енергії тіла?
5. Що таке повна механічна енергія тіла?

Вправа № 37

1. Наведіть приклади тіл, які мають кінетичну енергію. Обґрунтуйте свою відповідь.
2. Визначте кінетичну енергію велосипедиста, який рухається зі швидкістю 10 м/с. Маса велосипедиста дорівнює 50 кг.
3. Автомобіль розігнався на горизонтальній ділянці дороги завдовжки 400 м під дією рівнодійної сили 10 кН. Збільшилася чи зменшилася кінетична енергія автомобіля? На скільки?
4. Тіло рухається зі швидкістю 2 м/с. Визначте масу цього тіла, якщо його кінетична енергія становить 5 Дж.
5. Два автомобілі однакової маси рухаються назустріч один одному зі швидкостями 72 км/год і 15 м/с. Кінетична енергія якого автомобіля більша? У скільки разів?
6. Під час баскетбольного матчу м'яч масою 400 г кинуте в бік кільця. Визначте повну механічну енергію м'яча на висоті 3 м, якщо на цій висоті він рухається зі швидкістю 2 м/с. За нульовий рівень візьміть рівень підлоги спортивної зали.
7. Автомобіль масою 2 т рушив з місця і на горизонтальному відрізку дороги завдовжки 100 м набув швидкості руху 54 км/год. Визначте: а) яку роботу виконав двигун автомобіля? б) якою була рівнодійна сил, що діяли на автомобіль?
8. Куля масою 10 г, яка летіла зі швидкістю 600 м/с, пробила дошку завтовшки 10 см. Після цього швидкість руху кулі зменшилася до 400 м/с. Знайдіть середню силу опору, за якою дошка діяла на кулю.
9. Скориставшись Інтернетом або додатковою літературою, складіть і розв'яжіть задачу за темою цього параграфа. Зверніть увагу на те, що дані, наведені вами в задачі, та отримана відповідь повинні бути реальними.



10. З'ясуйте відповідність між кожною з поданих сил і формулою, за якою її визначають. Назвіть фізичні величини, які містить кожна формула, та одиниці, в яких вони вимірюються.

А Архімедова сила **Б** Сила пружності **В** Сила тертя **Г** Сила тяжіння

1 $F = mg$ 2 $F = \mu N$ 3 $F = kx$ 4 $F = pS$ 5 $F = \rho_{\text{рід}} g V_{\text{зан}}$

§ 38. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Напевне, багато хто з вас «стріляв» із трубочки, видуваючи з неї з певною швидкістю невеличкі кульки. Згадайте: кульки злітають догори, а потім падають. Коли кульки летять догори, швидкість їхнього руху зменшується, адже для того, щоб упасти, вони мають на мить зупинитися на певній висоті, а вже потім почати рухатися вниз. Кінетична енергія кульок під час руху вгору теж зменшується. А чи зникає вона зовсім?

1 Спостерігаємо перетворення потенціальної енергії на кінетичну і навпаки

Одним із фундаментальних законів природи є **закон збереження енергії**: *енергія нікуди не зникає і нізвідки не виникає, вона лише перетворюється з одного виду на інший, передається від одного тіла до іншого.*

Для прикладу розглянемо перетворення потенціальної енергії на кінетичну і навпаки під час вільних коливань маятника (рис. 38.1). Вважати-мемо, що тертя нехтовно мале. За нульовий рівень оберемо найнижче положення кульки (положення рівноваги).

Відхилимо кульку від положення рівноваги. У цій момент кулька перебуває на найбільшій висоті (h_{\max}), отже, має найбільшу потенціальну енергію ($W_{\text{п. max}} = mgh_{\max}$). Кулька не рухається ($v=0$), тому її кінетична енергія дорівнює нулю ($W_{\text{к}}=0$). Коли кулька починає рух, швидкість її руху поступово збільшується, відповідно зростає й кінетична енергія кульки.

У момент, коли кулька опускається до точки свого найнижчого положення ($h=0$), її потенціальна енергія зменшується до нуля ($W_{\text{п}} = mgh = 0$). У цей момент швидкість руху кульки є найбільшою, відповідно найбільшою

є її кінетична енергія $\left(W_{\text{к. max}} = \frac{mv_{\max}^2}{2} \right)$.

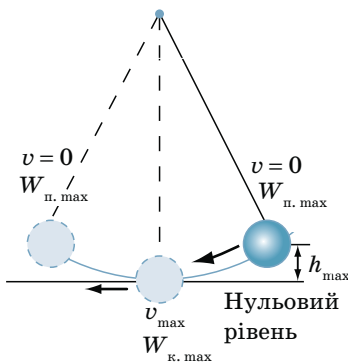


Рис. 38.1. Під час коливань нитяного маятника відбувається постійне перетворення потенціальної енергії кульки на її кінетичну енергію, і навпаки

За рахунок запасу кінетичної енергії кулька продовжує рух вліво, піднімаючись усе вище, внаслідок чого зростає її потенціальна енергія. Натомість швидкість руху кульки зменшується, відповідно зменшується її кінетична енергія. Нарешті кулька знову зупиниться на висоті h_{\max} — її кінетична енергія перетвориться на нуль, а потенціальна енергія сягне найбільшого значення. Таким чином, під час коливань маятника *один вид механічної енергії переходить в інший: потенціальна енергія перетворюється на кінетичну, і навпаки.*

Подібні перетворення механічної енергії спостерігаються й під час інших коливань, наприклад під час коливань натягнутої струни (рис. 38.2). Спробуйте самостійно пояснити перетворення енергії під час таких коливань.

2 Відкриваємо закон збереження механічної енергії

Наведемо ще один приклад — рух металевої кульки, яку кинуту вгору (рис. 38.3). Оскільки висота, на якій перебуває кулька відносно поверхні Землі зростає, то зростає і потенціальна енергія кульки. Швидкість руху кульки зменшується, відповідно зменшується її кінетична енергія. Досліди свідчать, що *за умови відсутності сили опору повітря* кінетична енергія кульки зменшується на стільки, на скільки збільшується її потенціальна енергія, і навпаки, тобто *повна механічна енергія системи «кулька — Земля» не змінюється*.

Те саме можна сказати і про енергії маятника та струни під час їхніх коливань: *за відсутності сил тертя їх повна механічна енергія залишається незмінною*.

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили сформулювати **закон збереження механічної енергії**:

У системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється:

$$W_{к0} + W_{п0} = W_{к} + W_{п},$$

де $W_0 = W_{к0} + W_{п0}$ — повна механічна енергія системи тіл на початок спостереження; $W = W_{к} + W_{п}$ — повна механічна енергія системи тіл у кінці спостереження.

3 Дізнаємося, що відбувається з енергією, якщо в системі існують сили тертя

Наголосимо ще раз, що закон збереження механічної енергії справджується лише в тому випадку, коли немає втрат механічної енергії, зокрема за умови відсутності сили тертя. Якщо враховувати тертя, то повна механічна енергія системи з часом зменшується, але це не означає, що енергія взагалі зникає. *Якщо в системі існує сила тертя, то механічна енергія (або її частина) перетворюється на внутрішню*.

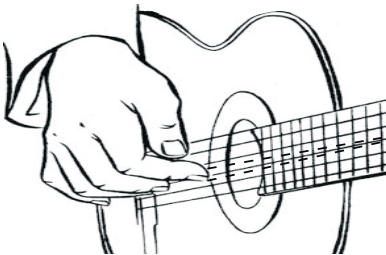


Рис. 38.2. Взаємне перетворення потенціальної і кінетичної енергій триватиме доти, доки струна коливатиметься

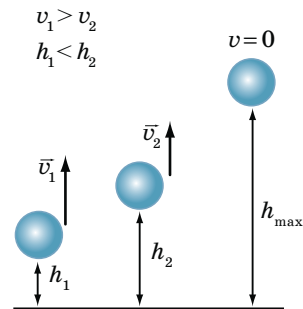


Рис. 38.3. Під час руху кульки вгору її потенціальна енергія збільшується, а кінетична — зменшується

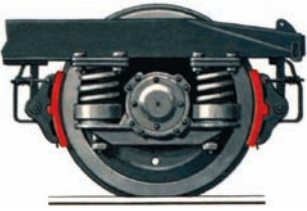


Рис. 38.4. Колесо потяга під час гальмування

Як приклад розглянемо гальмування потяга. Коли машиніст потяга натискає на гальмо, гальмівні колодки притискаються до коліс (рис. 38.4). Унаслідок дії сили тертя ковзання швидкість обертання колеса, а отже, й швидкість руху потяга зменшується. При цьому, якщо доторкнутися до колеса відразу після гальмування, то можна обпектися, так сильно воно нагрівається.

Отже, кінетична енергія потяга перетворилася на внутрішню енергію гальмівних колодок, колеса та навколишнього середовища.

4

Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Тіло масою 1 кг без початкової швидкості падає на поверхню Землі з висоти 20 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме 100 Дж? Опором повітря знехтуйте.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$v_0 = 0$$

$$h_0 = 20 \text{ м}$$

$$W_{\text{к}} = 100 \text{ Дж}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

h — ?

Аналіз фізичної проблеми.

Оскільки опір повітря відсутній, то повна механічна енергія системи «тіло — Земля» не змінюється.

Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зазначимо положення тіла на початку

і в кінці спостереження. За нульовий рівень оберемо поверхню Землі. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом збереження механічної енергії:

$$W_{\text{п}0} + W_{\text{к}0} = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}.$$

На початковій висоті h_0 :

$$W_{\text{п}} = mgh_0;$$

$$W_{\text{к}0} = 0 \text{ (оскільки } v_0 = 0 \text{)}.$$

На шуканій висоті h :

$$W_{\text{п}} = mgh;$$

$$W_{\text{к}} \neq 0 \text{ (оскільки тіло рухається)}.$$

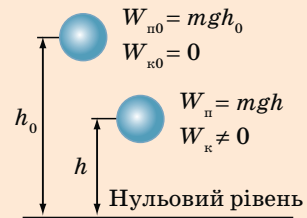
$$\text{Отже: } mgh_0 + 0 = mgh + W_{\text{к}}.$$

$$\text{Звідси маємо: } mgh = mgh_0 - W_{\text{к}} \Rightarrow h = h_0 - \frac{W_{\text{к}}}{mg}.$$

Перевіримо одиниці, визначимо числове значення шуканої величини: $[h] = \text{м} - \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \text{м} - \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \text{м} - \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$

$$h = 20 - \frac{100}{10} = 20 - 10 = 10 \text{ (м)}.$$

Відповідь: кінетична енергія тіла дорівнює 100 Дж на висоті 10 м.



Задача 2. Тіло кидають вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. На якій висоті потенціальна енергія тіла дорівнюватиме його кінетичній енергії? Опором повітря знехтуйте.

Дано:

$$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$W_{\text{п}} = W_{\text{к}}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} *$$

$$h_0 = 0$$

h — ?

Аналіз фізичної проблеми. Оскільки опір повітря відсутній, то повна механічна енергія системи «тіло — Земля» не змінюється. Оберемо за нульовий рівень потенціальної енергії рівень, з якого кидають тіло. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом збереження механічної енергії:

$$W_{\text{п}0} + W_{\text{к}0} = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}$$

На початковій висоті h_0 : На шуканій висоті h :
 $W_{\text{п}0} = 0$ (оскільки $h_0 = 0$); $W_{\text{п}} = mgh$;

$$W_{\text{к}0} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$W_{\text{к}} = W_{\text{п}}$ — за умовою задачі.

$$\text{Отже, маємо: } \frac{mv_0^2}{2} = mgh + mgh.$$

З отриманого рівняння дістанемо шукану висоту:
 $\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh$; $mv_0^2 = 4mgh$, звідки: $h = \frac{v_0^2}{4g}$.

Перевіримо одиниці, визначимо числове значення шуканої величини: $[h] = \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}} = \text{м}$;

$$h = \frac{400}{4 \cdot 10} = 10 \text{ (м)}.$$

Відповідь: на висоті 10 м.



Підбиваємо підсумки

Потенціальна енергія тіла (системи тіл) може перетворюватися на кінетичну енергію, і навпаки.

Закон збереження механічної енергії: у системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється:

$$W_{\text{п}0} + W_{\text{к}0} = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}$$

Якщо в системі існує тертя, то повна механічна енергія з часом зменшується: механічна енергія перетворюється на внутрішню.

* Оскільки $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$, то між одиницями енергії є таке співвідношення:

$$\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \Rightarrow \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

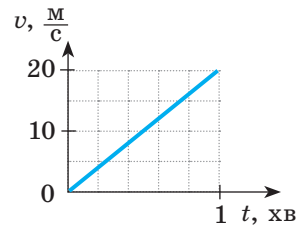


Контрольні запитання

1. Наведіть приклади перетворення потенціальної енергії тіла на кінетичну і навпаки. 2. Сформулюйте закон збереження механічної енергії. 3. За яких умов виконується закон збереження механічної енергії? 4. Наведіть приклади, коли повна механічна енергія не зберігається. 5. Чи порушується закон збереження енергії, якщо в системі є тертя?

Вправа № 38

- Шайба скочується з льодової гірки на асфальт і зупиняється. Чи виконується в цьому випадку закон збереження механічної енергії?
- Пружинний пістолет заряджають кулькою і стріляють угору. Які перетворення енергії при цьому відбуваються?
- Початкова потенціальна енергія тіла, яке перебуває в стані спокою на певній висоті, дорівнює 400 Дж. Тіло відпускають. Якою буде кінетична енергія тіла в момент, коли його потенціальна енергія становитиме 150 Дж? Опором повітря знехтуйте.
- Тіло кидають угору, надаючи йому кінетичної енергії 300 Дж. На певній висоті кінетична енергія тіла зменшиться до 120 Дж. Якою буде потенціальна енергія тіла на цій висоті? Опором повітря знехтуйте.
- Тіло, що перебувало в стані спокою, падає з висоти 20 м. На якій висоті швидкість руху тіла дорівнюватиме 10 м/с? Опором повітря знехтуйте.
- Камінь масою 500 г кинули вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. Знайдіть кінетичну і потенціальну енергії каменя на висоті 10 м.
- М'яч кинуто під кутом до горизонту зі швидкістю 8 м/с. Визначте, на якій висоті швидкість руху м'яча зменшиться вдвічі. Опором повітря знехтуйте.
- На рисунку подано графік швидкості руху вантажівки масою 4 т. Знайдіть кінетичну енергію вантажівки через 15 с після початку спостереження.



Експериментальне завдання

Підкиньте вгору якесь невеличке тіло (наприклад, сірникову коробку) і спіймайте його. Спробуйте визначити початкову швидкість руху тіла та швидкість руху тіла в момент дотику до вашої руки. Висоту, на яку піднялося тіло, виміряйте або оцініть на око. Опором повітря знехтуйте.

Фізика і техніка в Україні



Історія **Львівського національного університету ім.**

І. Франка починається в XVII ст.: у 1661 р. польський король підписав диплом, що надавав єзуїтській колегії у Львові «гідність академії і титул університету».

За століття, що минули з того часу, університет став одним із найпрестижніших освітніх закладів України. Зараз тут навчається понад 12 тис. студентів; у складі професорсько-викладацького колективу по-

над 150 докторів наук, професорів, близько 600 кандидатів наук, доцентів. Налагоджені наукові зв'язки з університетами Росії, Угорщини, Німеччини, Франції, Бельгії, Австрії, Великої Британії, Канади, США та ін. Особливо тісними є контакти з польськими навчальними закладами та науковими установами.

§ 39. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

Із давніх-давен для підняття важких каменів, пересування великих кам'яних брил тощо, тобто для виконання дій, які неможливо здійснити тільки силою м'язів, людина використовувала прості знаряддя праці. Ознайомившись із цим параграфом, ви зможете докладніше дізнатися про принцип дії одного з таких знарядь і навести приклади його сучасного застосування.

1 Використовуємо важіль

Уже давно відомо, що важкий камінь підняти значно легше, якщо просунути під нього міцний стрижень. У цьому випадку стрижень відіграватиме роль *простого механізму* — *важеля*.

Важіль — тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі.

Важіль — найпростіший механізм, яким людина користувалася протягом тисяч років (рис. 39.1). Зображення важеля можна знайти на скелях і в печерах, на стінах стародавніх храмів і в папірусах.

Сьогодні ми всюди бачимо приклади застосування важеля (рис. 39.2). Найчастіше як важіль використовують довгий стрижень із закріпленою віссю обертання.

2 З'ясовуємо умову рівноваги важеля

Визначимо, за якої умови важіль перебуває в рівновазі. Для цього використаємо лабораторний важіль. За допомогою дротяних гачків будемо підвішувати до важеля тягарці. Пересуваючи гачки, змінюватимемо *плечі сил*, що діють на важіль.

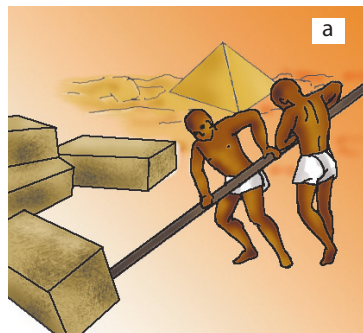


Рис. 39.1. Важіль використовували ще на будівництві єгипетських пірамід (а), а лопата (теж приклад важеля) — один із найдавніших інструментів, відомих людині (б)

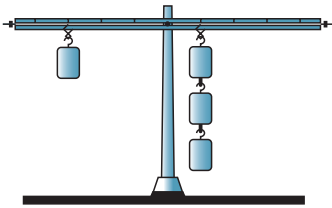


Рис. 39.2. Важелі застосовують крізь: на дитячих майданчиках (а), у лабораторіях (б), центрах керування технологічними процесами (в), на будмайданчиках (г) тощо

Плече сили — це найменша відстань від осі обертання до лінії, уздовж якої сила діє на важіль.

Підвісимо, наприклад, зліва від осі обертання на відстані $l_1 = 30$ см тягарець вагою $F_1 = 1$ Н (рис. 39.3). Справа від осі обертання підвісимо тягарці загальною вагою $F_2 = 3$ Н і пересуватимемо гачок, доки важіль не зрівноважиться. Це відбудеться, коли тягарці загальною вагою 3 Н займуть положення на відстані $l_2 = 10$ см від осі обертання. Знайдемо відношення: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{3}$; $\frac{l_2}{l_1} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$, тобто $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

Численні досліди дозволяють зробити висновок, який називають **правилом важеля**:



Якщо на важіль діє пара сил, то він перебуває в рівновазі тоді, коли сили обернено пропорційні плечам цих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

де F_1 і F_2 — значення сил, що діють на важіль; l_1 і l_2 — плечі цих сил.

Правило важеля встановив давньогрецький філософ Архімед. За легендою, саме йому належать слова: «Дайте мені точку опори — і я переверну Землю» (рис. 39.4).

Зазвичай кажуть, що за допомогою важеля можна отримати *виграш у силі*: наприклад, досить малу силу людських м'язів важіль «перетворює» на більшу силу, яка може підняти порівняно важке тіло. Однак *виграш у силі супроводжується програшем у відстані*: плече меншої сили є більшим, і тому, коли людина за допомогою важеля піднімає важке тіло навіть на невелику висоту, рука долає значну відстань.

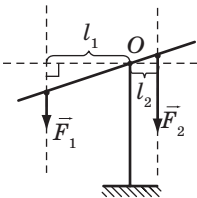
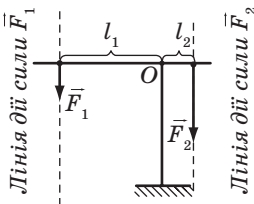


Рис. 39.3. Домогтися рівноваги важеля можна, якщо певним чином дібрати плечі сил. Тут O — вісь обертання; l_1 — плече сили \vec{F}_1 ; l_2 — плече сили \vec{F}_2

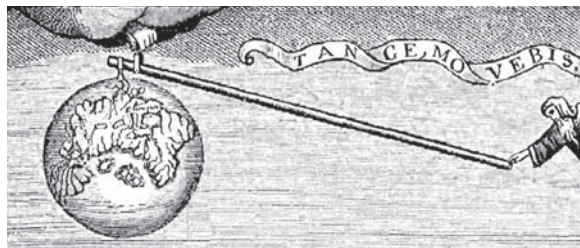


Рис. 39.4. Гравюра «Архімед важелем піднімає Землю» із книги П'єра Варіньйона про механіку (1787)

3 Знайомимося з моментом сили

Для характеристики обертального ефекту сили під час її дії на тверде тіло введено фізичну величину *момент сили*.

Момент сили — фізична величина, що дорівнює добутку сили, яка діє на тіло, на плече цієї сили:

$$M = Fl,$$

де M — момент сили; F — сила, яка діє на тіло; l — плече цієї сили.

Одиниця моменту сили в СІ — **ньютон на метр**: $[M] = \text{Н} \cdot \text{м}$.

Сила 1 Н створює момент сили 1 Н·м, якщо плече сили дорівнює 1 м.

У фізиці прийнято: якщо сила обертає або намагається обертати тіло проти ходу годинникової стрілки, то момент сили вважається додатним, а якщо за ходом годинникової стрілки — від'ємним.

Так, на рис. 39.5 момент сили \vec{F}_1 — додатний, а момент сили \vec{F}_2 — від'ємний.

4 Відкриваємо правило моментів

Запишемо правило моментів важеля для тіла, зображеного на рис. 39.5:

$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$. Інакше:

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2.$$

Оскільки добуток сили F на плече сили l є моментом сили M , маємо:

$$M_1 = -M_2.$$

Знак «-» поставлено через те, що сила \vec{F}_2 намагається повернути тіло за ходом годинникової стрілки, тому момент сили \vec{F}_2 є від'ємним.

Рівність $M_1 = -M_2$ можна записати інакше: $M_1 + M_2 = 0$. Це рівняння називають *правилом моментів*.

У випадках, коли на тверде тіло, яке має вісь обертання, діють більш ніж дві сили, правило моментів має вигляд: $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$.

Отже, формулюємо **правило моментів**:

Тіло перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які діють на тіло, дорівнює нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

Таким чином, коли на важіль діють, наприклад, три сили (рис. 39.6), умова його рівноваги матиме вигляд: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$.

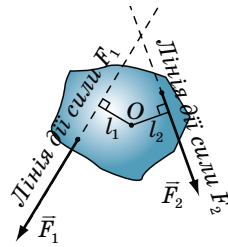


Рис. 39.5. O — вісь обертання; l_1 — плече сили \vec{F}_1 ($M_1 = F_1 \cdot l_1$); l_2 — плече сили \vec{F}_2 ($M_2 = -F_2 \cdot l_2$)

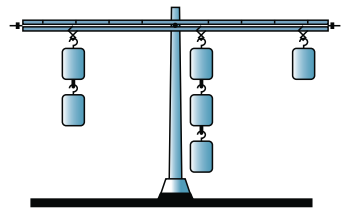


Рис. 39.6. Коли на важіль діють більш ніж дві сили, для з'ясування умови його рівноваги доцільно використовувати правило моментів

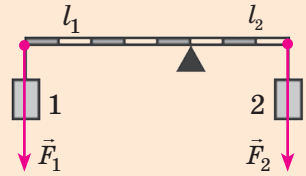
5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Визначте масу тягарця 1 (див. рисунок), якщо маса тягарця 2 становить 4 кг. Масу важеля не враховуйте.

Дано:
 $m_2 = 4$ кг
 $l_1 = 5a$
 $l_2 = 3a$

m_1 ?

Аналіз фізичної проблеми. На рисунку зображений важіль, який перебуває в рівновазі. На важіль діє пара сил: сила \vec{F}_1 (вага тягарця 1) і сила \vec{F}_2 (вага тягарця 2). Із рисунка бачимо, що плечі цих сил відповідно дорівнюють: $l_1 = 5a$, $l_2 = 3a$, де a — довжина одиничного відрізка.



Пошук математичної моделі, розв'язання. Скористаємось умовою рівноваги важеля: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$. Оскільки тягарці нерухомі, то $F_1 = m_1g$; $F_2 = m_2g$.

Отже, $\frac{m_1g}{m_2g} = \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{l_2}{l_1}$. Остаточоно: $m_1 = m_2 \frac{l_2}{l_1}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[m_1] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} = \text{кг}; \quad m_1 = 4 \cdot \frac{3a}{5a} = 2,4 \text{ (кг)}.$$

Аналіз результатів. До меншого плеча важеля підвішений тягарець масою 4 кг, а до більшого — тягарець масою 2,4 кг. Результат є правдоподібним.

Відповідь: маса тягарця 1 становить 2,4 кг.

**Підбиваємо підсумки**

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі. Плече сили — найменша відстань від осі обертання до лінії, уздовж якої сила діє на важіль.

Важіль перебуває в рівновазі, якщо сили F_1 і F_2 , що діють на його плечі l_1 і l_2 , обернено пропорційні довжинам плечей: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

Характеристикою обертальної дії сили є момент сили M , який дорівнює добутку сили F , що обертає тіло, на плече l сили: $M = Fl$.

Використовуючи правило моментів: $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$, — можна сформулювати правило важеля в загальному вигляді: важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які діють на його плечі, дорівнює нулю.

**Контрольні запитання**

1. Що таке важіль?
2. Наведіть приклади застосування важеля.
3. Що називають плечем сили?
4. Сформулюйте умову рівноваги важеля.
5. Дайте визначення моменту сили.
6. У яких одиницях вимірюється момент сили?
7. У яких випадках момент сили має додатне значення? від'ємне значення?
8. У чому полягає правило моментів?

Вправа № 39

У ході розв'язування задач масою важеля слід знехтувати.

1. Наведіть приклади застосування важеля в повсякденному житті.
2. Маса якої людини (рис. 1) є більшою? Поясніть свою відповідь.
3. Вага тягарця 1 (рис. 2) становить 90 Н. Якою є вага тягарця 2?
4. Визначте масу тягарця (рис. 3), якщо сила, що діє на правий кінець важеля, дорівнює 40 Н.
5. Загальна маса тягарців (рис. 4) дорівнює 48 кг. Визначте масу кожного тягарця.
6. До кінців тонкого однорідного стрижня завдовжки 2 м підвішені вантажі масами 14 і 26 кг. На якій відстані від середини стрижня слід розмістити опору, щоб стрижень перебував у рівновазі?
7. Щоб підняти один край дошки, яка лежить на підлозі, треба прикласти силу 400 Н. Якою є маса дошки?
8. Поясніть принцип дії пристроїв, зображених на рис. 5. Скориставшись рисунком, визначте, який найбільший вигравш у силі можна отримати за допомогою цих пристроїв.
9. Маса тягарця 1 дорівнює 10 кг, тягарця 2 — 5 кг (рис. 6). Якою є маса тягарця 3?
10. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою і знайдіть інформацію про важелі в тілі людини. Складіть задачу, спираючись на отриману інформацію. Розв'яжіть її, умову та розв'язок оформте на окремому аркуші.



Рис. 1

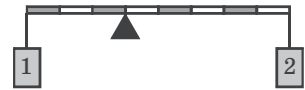


Рис. 2

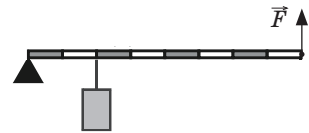


Рис. 3

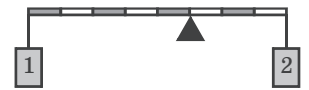


Рис. 4

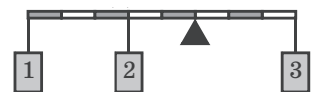


Рис. 6

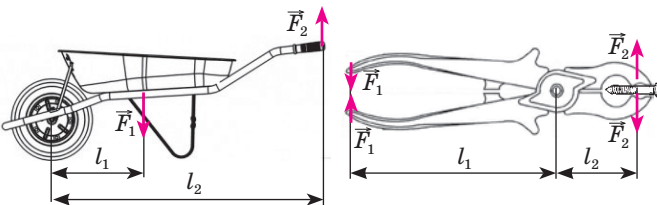


Рис. 5



Експериментальне завдання

1. За допомогою лінійки, олівця та нитки визначте відношення мас вашого мобільного телефона та мікрокалькулятора (або двох інших речей, які можуть бути у вашому портфелі).
2. Знайдіть у себе вдома декілька пристроїв, дія яких ґрунтується на умові рівноваги важеля (ножиці, пасатижі, обценьки, гайковий ключ). Проведіть необхідні вимірювання й обчислення і дізнайтесь, який вигравш у силі отримують за допомогою цих пристроїв.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик, відтворіть дослід і спробуйте його пояснити.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

Тема. З'ясування умови рівноваги важеля.

Мета: перевірити дослідним шляхом, яким має бути співвідношення сил і їхніх плечей, щоб важіль перебував у рівновазі.

Обладнання: важіль, штатив із муфтою та лапкою, набір тягарців масою по 100 г, динамометр, учнівська лінійка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання.
 - Що називають важелем і де застосовують важелі?
 - Що називають плечем сили?
 - Що таке момент сили?
- Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
- Закріпіть на лапці штатива важіль і зрівноважте його за допомогою регулювальних гайок.

▶ Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Номер дослід- ду	За ходом годинникової стрілки			Проти ходу годинникової стрілки			$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	$M_1 + M_2,$ Н·м
	$F_1, \text{Н}$	$l_1, \text{м}$	$M_1,$ Н·м	$F_2, \text{м}$	$l_2, \text{Н}$	$M_2,$ Н·м			

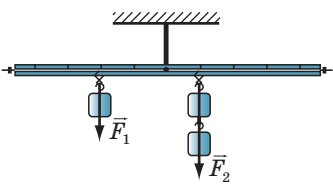


Рис. 1

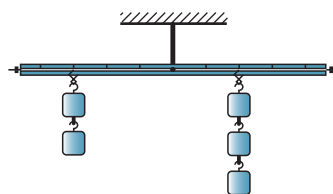


Рис. 2

- Підвісьте з одного боку від осі обертання важеля один тягарець, з іншого боку — два тягарці.
- Пересуваючи тягарці, зрівноважте важіль (рис. 1).
- Виміряйте за допомогою лінійки плечі l_1 і l_2 відповідних сил \vec{F}_1 і \vec{F}_2 .
- Вважаючи, що вага одного тягарця дорівнює 1 Н, запишіть значення сил \vec{F}_1 і \vec{F}_2 .
- Повторіть дослід, підвісивши на одній половині важеля два, а на іншій — три тягарці (рис. 2).
- Підвісьте праворуч від осі обертання на відстані 12 см три тягарці. Значення сили \vec{F}_1 дорівнюватиме загальній вазі цих тягарців. Визначте за допомогою динамометра, яку силу \vec{F}_2 потрібно прикласти в точці, що лежить на відстані 8 см правіше від точки підвішування тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі (рис. 3).

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного дослідіду:

1) знайдіть відношення сил $\frac{F_1}{F_2}$ і відношення плечей $\frac{l_2}{l_1}$;

2) обчисліть момент M_1 сили, що повертає важіль проти ходу годинникової стрілки, і момент M_2 сили, що повертає важіль за ходом годинникової стрілки;

3) знайдіть суму моментів сил, що діють на важіль (нагадуємо, що момент сили, яка обертає важіль за ходом годинникової стрілки, треба брати зі знаком «-»).

2. Закінчіть заповнення таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

На підставі проведених дослідів порівняйте відношення сил, що діють на важіль, і відношення його плечей. Зробіть висновок, у якому сформулюйте умову рівноваги важеля, проаналізуйте, які чинники вплинули на точність ваших вимірювань.

+ Творче завдання

Зберіть пристрій, як показано на рис. 4. Виконайте необхідні вимірювання та визначте моменти сил, що діють на важіль. Знайдіть суму моментів. Зробіть висновок про умову рівноваги важеля в цьому експерименті.

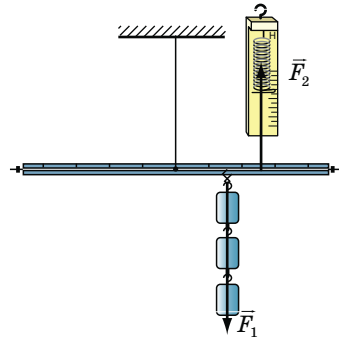


Рис. 3

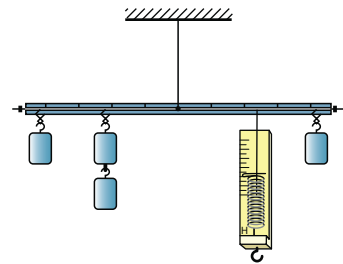


Рис. 4

Фізика і техніка в Україні



Дніпропетровський національний університет імені Олесе Гончара.

Перший набір студентів Дніпропетровський національний університет здійснив у 1918 р. Тоді в ньому навчалось 2750 осіб. Першим ректором університету був відомий учений-біолог В. П. Карпов. За час свого існування заклад підготував понад 130 тис. фахівців.

Перетворення закладу на один із провідних вишів України пов'язується з ім'ям академіка В. І. Моссаковського, який був ректором університету в 1964–1986 рр. З 1951 р. Дніпропетровський університет розпочав підготовку фахівців з ракетобудування, пізніше з'явилися наукові школи в галузях математики, механіки, фізики, радіоелектроніки. Зважаючи на загальнодержавне й міжнародне визнання результатів діяльності, Дніпропетровському університету було надано статус національного. Зараз в університеті навчаються понад 20 тис. студентів за 89 спеціальностями.

§ 40. РУХОМИЙ І НЕРУХОМИЙ БЛОКИ

Перший блок було винайдено, коли через колесо, що обертається навколо осі, невідомий стародавній механік перекинув мотузку та за допомогою цього пристрою став підіймати вантажі. За легендою, Архімед за допомогою декількох блоків зміг спустити на воду важке судно, яке не могли зрушити з місця десятки коней. Зараз блоки є в багатьох машинах і механізмах. Чим пояснюється їх широке застосування?

1 З'ясуємо зв'язок нерухомого блока і важеля

Розгляньте рис. 40.1, на якому зображено колесо із жолобом. Вісь колеса закріплена нерухомо, саме колесо має можливість обертатися навколо цієї осі. Через жолоб перекинута мотузку. Перед нами приклад ще одного простого механізму — *нерухомий блок*.

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом по ободу, через який перекинута мотузку (ланцюг, трос).

Важіль і нерухомий блок, на перший погляд, є зовсім різними механізмами. Проте насправді нерухомий блок є важелем з однаковими плечима (рис. 40.1, б). Якщо до кінців мотузки, перекинutoї через блок, прикласти сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , то відповідно до умови рівноваги важеля матимемо:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Уважно подивившись на рис. 40.1, ви побачите, що плечі обох сил дорівнюють радіусу R блока ($l_1 = OA = R$; $l_2 = OB = R$). З умови рівноваги $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{R} = 1$ випливає, що $F_1 = F_2$.

Таким чином, *нерухомий блок не дає виграшу в силі*. Однак бачимо, що *нерухомий блок дозволяє змінювати напрямок дії сили* (див., наприклад, рис. 40.1, 40.2, 40.3).

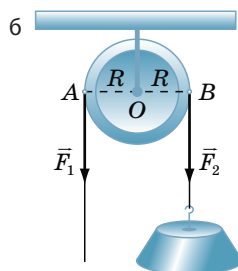


Рис. 40.1. Нерухомий блок можна розглядати як важіль з однаковими плечима. На схемі (б): R — радіус блока; OB — плече сили \vec{F}_1 , що діє з боку тіла; AO — плече сили \vec{F}_2 , з якою на блок діє людина

Рис. 40.2. Нерухомі блоки, які є в конструкції кар'єрних екскаваторів, дозволяють змінювати напрямок дії сил під будь-яким кутом

2 Досліджуємо рухомий блок

За допомогою спеціальної обойми причепимо вантаж до осі блока. Сам блок підвісимо на мотузку, один кінець якої закріпимо на стелі (рис. 40.4). Якщо піднімати вільний кінець мотузки, то за мотузкою підніматиметься і блок з вантажем. Отриманий таким чином простий механізм і є *рухомим блоком*.

Рухомий блок можна розглядати як важіль, який обертається навколо точки O (див. рис. 40.4). Тоді плече сили \vec{F}_2 дорівнює радіусу колеса (відрізок OA), а плече сили \vec{F}_1 дорівнює діаметру колеса (відрізок OB), тобто двом радіусам колеса.

Скориставшись умовою рівноваги важеля $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ і врахувавши, що $l_1 = R$, а $l_2 = 2R$, отримаємо: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}$, або

$$F_1 = \frac{F_2}{2}.$$

Таким чином, *рухомий блок дає вигравш у силі в 2 рази*.

У рухомому блоці *вигравш у силі супроводжується таким самим програшем у відстані*: якщо підняти вільний кінець мотузки на висоту h , вантаж підніметься на висоту $\frac{h}{2}$ (рис. 40.5). Як правило, нерухомі та рухомі блоки використовують одночасно — у вигляді комбінацій (рис. 40.6).

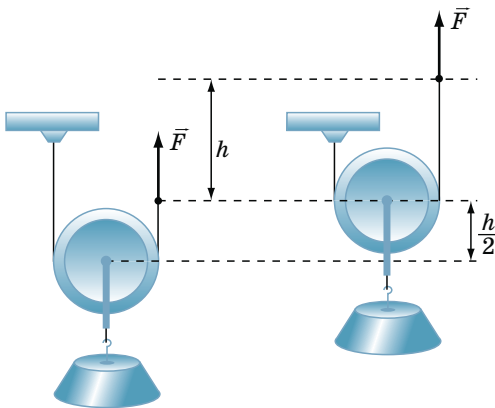


Рис. 40.5. Якщо підняти кінець мотузки на висоту h , то блок підніметься на висоту $\frac{h}{2}$

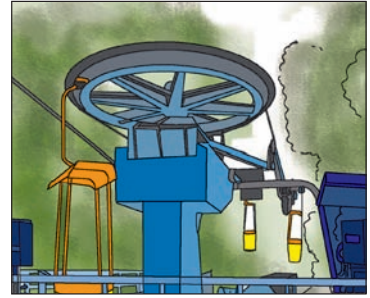


Рис. 40.3. Нерухомий блок у механізмі канатної дороги змінює напрямок дії сили натягу каната на протилежний

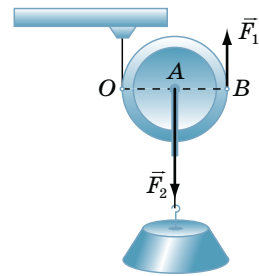


Рис. 40.4. Рухомий блок — це важіль із відношенням плечей 1 : 2

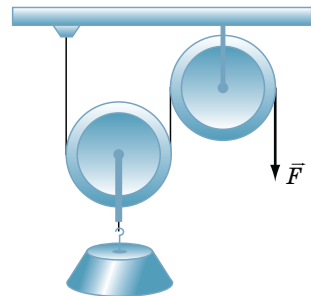


Рис. 40.6. Для підняття вантажів незамінними є комбінації нерухомого та рухомого блоків

3 Учимся розв'язувати задачі

Задача. На рисунку зображено систему блоків. Скільки в цій системі рухомих блоків і скільки нерухомих? Якими є сили натягу F_a і F_b мотузок a і b відповідно, якщо маса вантажу становить 20 кг? Який вигравш у силі дає ця система блоків? На яку відстань h_A опуститься точка A , якщо вантаж підніметься на 10 см? Блоки вважайте невагомими, тертя — відсутнім.

Дано:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$h = 10 \text{ см}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

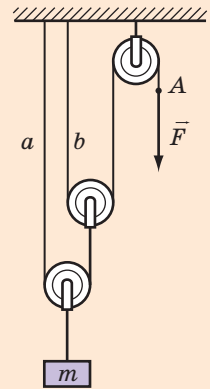
$$F_a \text{ —?}$$

$$F_b \text{ —?}$$

$$\frac{P}{F} \text{ —?}$$

$$h_A \text{ —?}$$

Аналіз фізичної проблеми. В умові задачі описано систему блоків, яка (це видно з рисунка) складається із двох рухомих і одного нерухомого блоків. За умовою блоки невагомими, отже, натяг мотузок буде спричинятися тільки вагою вантажу. Вантаж підвішений до рухомого блока, який дає вигравш у силі. Другий рухомий блок також дає вигравш у силі. Для визначення вигравшу в силі нам потрібно порівняти вагу P вантажу із силою F , яка прикладена до вільного кінця мотузки і під дією якої піднімається вантаж. Слід врахувати, що, виграючи в силі, ми в стільки ж разів програємо у відстані, на яку переміщується вантаж.



Пошук математичної моделі, розв'язання

$$\text{Знайдемо вагу вантажу: } P = mg = 20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 200 \text{ Н}.$$

Рухомий блок, до якого підвішений вантаж, дає вигравш у силі в 2 рази, отже, сила натягу мотузки a становить:

$$F_a = \frac{P}{2} = \frac{200 \text{ Н}}{2} = 100 \text{ Н}.$$

Рухомий блок, до якого підвішена мотузка b , також дає вигравш у силі в 2 рази, отже, сила натягу мотузки b становить:

$$F_b = \frac{F_a}{2} = \frac{100 \text{ Н}}{2} = 50 \text{ Н}.$$

Сила F є силою натягу мотузки b : $F = F_b = 50 \text{ Н}$. Тому ви-

$$\text{гравш у силі становить: } \frac{P}{F} = \frac{200 \text{ Н}}{50 \text{ Н}} = 4.$$

У скільки разів ми виграли в силі, у стільки разів програли у відстані: $h_A = 4h = 40 \text{ см}$.

Відповідь: система блоків складається з двох рухомих й одного нерухомого блоків; сила натягу мотузки a становить 100 Н; сила натягу мотузки b становить 50 Н; вигравш у силі дорівнює 4; точка A опуститься на 40 см.



Підбиваємо підсумки

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом по ободу, через який перекинута мотузку (ланцюг, трос). Розрізняють рухомий і нерухомий блоки.

Нерухомий блок подібний до важеля з однаковими плечима і тому не дає виграшу в силі, проте дозволяє змінювати напрямок дії сили.

Рухомий блок подібний до важеля, в якого відношення плечей становить 1:2, і тому він дає виграш у силі в 2 рази. Але це супроводжується програшем у відстані в 2 рази.

Для більшої ефективності, як правило, використовують комбінації рухомого та нерухомого блоків.



Контрольні запитання

1. Опишіть нерухомий блок.
2. Чому нерухомий блок не дає виграшу в силі?
3. Для чого використовують нерухомий блок?
4. Опишіть рухомий блок.
5. Який виграш у силі дає рухомий блок?
6. Що означає: рухомий блок дає програш у відстані в 2 рази?
7. Як за допомогою блоків отримати виграш у силі більш ніж у 2 рази?

Вправа № 40

У завданнях: 1–4 масою блоків і дією сили тертя слід знехтувати.

1. Розгляньте рис. 1 і дайте відповіді на запитання: а) Який блок зображено на рисунку? б) На скільки підніметься вантаж, якщо вільний кінець мотузки витягнути вгору на 10 см? в) З якою силою тягнуть мотузку, якщо вага вантажу 60 Н?
2. Вільний кінець мотузки тягнуть із силою $F = 40$ Н (рис. 2). Якою є маса вантажу?
3. Яку силу F треба прикласти (див. рис. 2), щоб підняти вантаж масою 50 кг? На скільки підніметься вантаж, якщо витягнути мотузку на 24 см?
4. Вантаж піднімають за допомогою одного нерухомого та двох рухомих блоків (див. рис. 40.7). Якою є маса вантажу і на скільки він підніметься, якщо під дією сили 75 Н вільний кінець мотузки опустити на 60 см?
5. Яку силу треба прикласти, щоб підняти вантаж масою 100 кг за допомогою рухомого та нерухомого блоків (див. рис. 40, б), якщо маса рухомого блока становить 2 кг?
6. Вантаж масою m утримується за допомогою системи блоків (рис. 3). Визначте силу натягу мотузки. Тіла системи вважайте невагомими.
7. У техніці доволі часто використовують вантажопідйомні пристрої, які складаються із системи рухомих і нерухомих блоків. Такі пристрої називають поліспастами. На рис. 4 подано схематичне зображення найпростішого з поліспастів (лебідку). Визначте, який виграш у силі дає цей пристрій. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою та дізнайтеся про поліспаста більше.

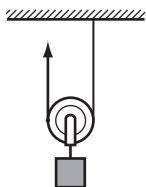


Рис. 1

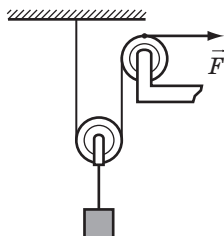


Рис. 2

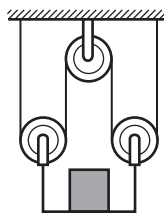


Рис. 3

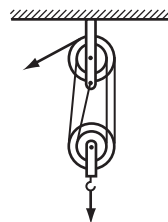


Рис. 4



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

§ 41. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. «ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО» МЕХАНІКИ

Слід зазначити, що винаходи стародавніх механіків не відійшли в минуле, — і сьогодні вдосконалені «нащадки» винайдених ними простих механізмів зустрічаються на заводах і будівельних майданчиках, у транспортних засобах і побутових приладах. Ці пристрої дозволяють отримати вигравш у силі. А чи дають вони вигравш у роботі?

1 Відкриваємо «золоте правило» механіки

Вивчаючи § 40, ви дізналися, що важелі з різними плечима і рухомі блоки дозволяють одержати вигравш у силі. Але такий вигравш дається не «задарма». Адже, отримавши перевагу в силі, ми програємо у відстані.

Так, під час застосування важеля довший його кінець проходить більший шлях (рис. 41.1): важке тіло підніметься на невелику висоту (h_2), а кінець довгого плеча важеля, до якого прикладена мала сила, опуститься значно більше (на висоту (h_1)). Такий результат отримуємо й під час використання рухомого блока (див. рис. 40.5).

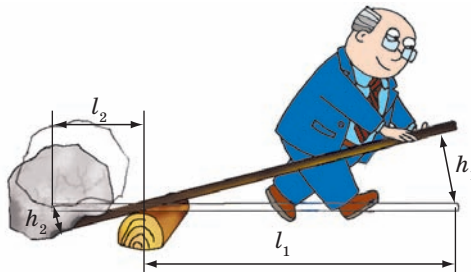


Рис. 41.1. У скільки разів плече l_1 важеля довше за плече l_2 , у стільки ж разів висота h_1 більша за висоту h_2

Класичні розрахунки дій важелів і блоків належать видатному антично-му механікові Архімеду.

Архімед вивів правило, яке можна застосувати не лише до важеля, але й до всіх простих механізмів. Це правило називають «золоте правило» механіки:

У скільки разів простий механізм дає вигравш у силі, у стільки ж разів він дає програвш у відстані:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

Слід зазначити, що «золоте правило» виконується за *ідеальних умов*, коли рухомі частини простих механізмів не мають ваги, а між тілами, які ковзають або котяться одне по одному, немає тертя.

Із закону збереження енергії випливає, що *прості механізми не дають вигравшу в роботі*. Те саме підтверджує і «золоте правило» механіки:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{h_2}{h_1}, \text{ тобто } F_1 h_1 = F_2 h_2 \Rightarrow A_1 = A_2.$$

2 Досліджуємо похилу площину

Окрім важеля і блока людина з античних часів використовує ще один простий механізм — *похилу площину* (рис. 41.2). За допомогою похилої площини можна піднімати важкі предмети, прикладаючи до них відносно невелику силу.

«Тіло на похилій площині втримується силою, яка... за величиною у стільки разів менша від ваги цього тіла, у скільки разів довжина похилої площини більша за її висоту» — так сформулював умову рівноваги сил на похилій площині голландський учений *Симон Стевін* (1548–1620).

Доведемо це твердження. Нехай нам треба підняти тіло на висоту h похилою площиною завдовжки l . Щоб підняти тіло вертикально (без похилої площини), потрібно прикласти до нього силу, значення якої дорівнює значенню сили тяжіння $F_{\text{тяж}}$, а щоб втягнути його похилою площиною — силу F (рис. 41.3).

У разі вертикального піднімання тіла на висоту h виконується робота $A_1 = F_{\text{тяж}} h$. У разі втягування тіла похилою площиною на відстань l виконується робота $A_2 = Fl$. За відсутності тертя $A_1 = A_2$, тобто $F_{\text{тяж}} h = Fl \Rightarrow \frac{F_{\text{тяж}}}{F} = \frac{l}{h}$.

Зверніть увагу! Для похилої площини «золоте правило» механіки виконується за умови відсутності тертя між тілом, яке втягають похилою площиною, і поверхнею площини.



Рис. 41.2. Похила площина є незамінною, коли треба підняти вантаж. Чим пологіший ухил площини, тим легше виконати цю роботу

3 Знайомимося з різновидами похилої площини

Властивості похилої площини реалізуються у використанні, наприклад, ескалаторів, звичайних сходів і конвеєрів. Одним із різновидів похилої площини є *клин*.

Щоб полегшити рубання дров, у тріщину колоди вставляють клин і б'ють по ньому обухом сокири. Під час удару на клин діють три тіла: зверху обух сокири і з боків — дві частини колоди. Відповідно клин діє на обух сокири вгору, а на деревину колоди — в боки, тобто розсовує частини колоди. Таким чином, клин змінює напрямок сили сокири. Крім того, сила, з якою він розсовує частини колоди в різні боки, набагато більша за силу, з якою сокира вдарає по клину (рис. 41.4).

Різновидом похилої площини також є гвинт. Візьмемо трикутник, вирізаний із кар-

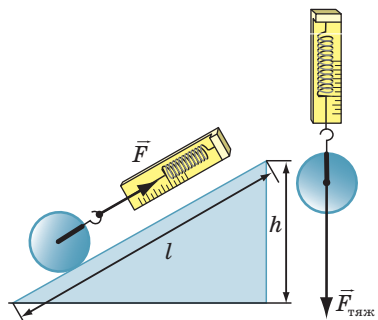


Рис. 41.3. Для втягування тіла вгору похилою площиною потрібна значно менша сила, ніж для підняття цього самого тіла вертикально

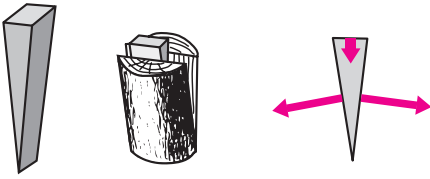


Рис. 41.4. Клин не тільки надає вигреш у силі, але й змінює її напрямок

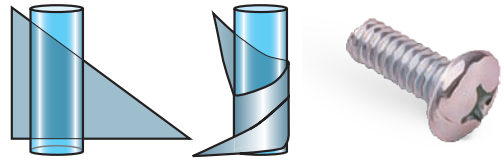


Рис. 41.5. Різновидом похилої площини є гвинт

тону, та розташуємо його поряд із циліндром. Похилою площиною слугуватиме ребро картону. Обгорнувши трикутник навколо циліндра, одержимо гвинтову похилу площину (рис. 41.5). Власне нарізка гвинта — це похила площина, яку багато разів обернуто навколо циліндра. Подібно до клина гвинт може змінювати напрямок і значення прикладеної сили.

Принцип дії гвинта використовують у багатьох механізмах і пристроях — механічних домкратах і підійомниках, м'ясорубці, лещатах, струбцинах, свердлах, шурупах, різьбових кріпленнях тощо.

4 Знаходимо прості механізми в сучасних машинах

Прості механізми — це трудівники зі «стажем роботи» понад 30 століть, проте вони анітрохи не «постаріли», адже в кожному сучасному технічному пристрої ми обов'язково знайдемо простий механізм, і не один.

Так, важіль і його різновиди можна знайти в конструкції велосипеда й автомобіля. Важелі та блоки — неодмінні складники конструкцій шляхо- і трубоукладальників, піднімальних кранів та інших машин. Транспортери, які використовують у шахтах і на фабриках, є прикладами похилої площини. Гвинт використовують у механічних домкратах.



Підбиваємо підсумки

З давніх часів людина для полегшення своєї праці використовувала прості механізми. До простих механізмів належать важіль, блок, похила площина, клин, гвинт.

Для всіх простих механізмів і для гідравлічного преса справджується «золоте правило» механіки: у скільки разів простий механізм дає вигреш у силі, у стільки ж разів він дає програш у відстані. «Золоте правило» механіки виконується за ідеальних умов.

Простий механізм — неодмінний складник сучасних машин. У цих машинах може бути декілька простих механізмів.



Контрольні запитання

1. Для чого використовують прості механізми? 2. Сформулюйте «золоте правило» механіки для простого механізму. 3. Назвіть різновиди похилої площини. 4. Який вигреш у силі дає похила площина? 5. Сформулюйте «золоте правило» механіки для гідравлічного преса. 6. Наведіть приклади використання простих механізмів у сучасних машинах.

Вправа № 41

Вважайте, що дії відбуваються за ідеальних умов.

1. Піднімаючи вантаж за допомогою важеля, отримали вигреш у силі в 3 рази. При цьому вантаж, який був прив'язаний до лівого кінця важеля, піднявся на висоту 20 см. На скільки опустився правий кінець важеля?
2. У результаті стискання деталі гідравлічним пресом силою 10 кН великий поршень піднявся на 5 мм. Яку силу було прикладено до малого поршня, якщо він опустився на 20 см?
3. За допомогою рухомого блока людина піднімає відро масою 20 кг. З якою силою при цьому людина діє на мотузку? На яку висоту людина підніме відро, якщо вона витягує мотузку на 10 м?
4. За допомогою важеля підняли вантаж масою 100 кг. На яку висоту було піднято вантаж, якщо на довге плече важеля діяла сила 250 Н, а точка прикладання сили опустилася на 30 см?
5. Яку силу треба прикласти, щоб підняти похилою площиною візок масою 60 кг, якщо висота похилої площини дорівнює 80 см, а її довжина становить 3,2 м?
6. Окрім блоків, різновидом важеля є *коловорот* (див. [рисунок](#)). Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою і дізнайтеся: що являє собою коловорот? де його застосовують? завдяки чому за допомогою коловорота можна отримати значний вигреш у силі? Оберіть один з розглянутих пристроїв, оформте інформаційний лист.



i



7. Із формули $F = \rho ghS$ виразить ρ і S . Із формули $n = \frac{mgh}{Fl}$ виразить m і F .



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

§ 42. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ

«Золоте правило» механіки підказує нам, що вигреш у силі, який дають прості механізми, компенсується програтом у відстані. Тому ніякого виграшу в роботі за допомогою простих механізмів ми не отримуємо. Більше того, виявляється, що в роботі ми завжди програємо — частина роботи кудись «зникає». Спробуємо з'ясувати, куди.

1 Знайомимося з важливою характеристикою механізмів

Припустимо, нам треба підняти на певну висоту вантаж. Для цього перекинемо через нерухомий блок мотузку, прив'яжемо до неї вантаж і будемо рівномірно тягти мотузку вниз. Нерухомий блок можна уявити як рівноплечий важіль, тому сила F , з якою людина тягне мотузку, повинна дорівнювати вазі вантажу: $F = P$. Однак на практиці завжди є сила тертя, тому, щоб підняти вантаж, треба прикласти силу, що є більшою від ваги вантажу: $F > P$ (рис. 42.1).

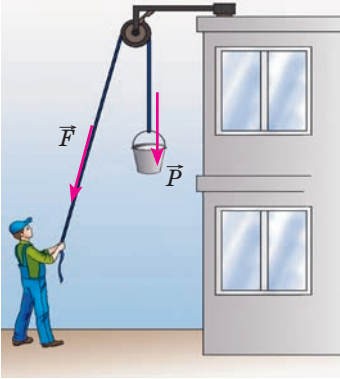


Рис. 42.1. Якщо в нерухомому блоці є тертя, то сила F , з якою людина тягне мотузку, за значенням має бути більшою за вагу P вантажу

Під час піднімання вантажу на потрібну висоту h виконується корисна робота:

$$A_{\text{кор}} = Ph.$$

Робота ж людини з витягування мотузки на довжину h (повна робота) обчислюється за формулою:

$$A_{\text{повна}} = Fh.$$

Повна робота буде більшою, ніж корисна робота ($Fh > Ph$), унаслідок тертя.

На практиці корисна робота, яку виконують за допомогою будь-якого механізму, завжди є меншою від повної роботи: $A_{\text{кор}} < A_{\text{повна}}$. Тільки в ідеальних випадках корисна робота дорівнювала би повній роботі, але цього ніколи не відбувається.

Яку частину повної роботи механізм перетворює на корисну, показує фізична величина, яка називають *коефіцієнтом корисної дії*.

Коефіцієнт корисної дії механізму — це фізична величина, яка характеризує механізм і дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}},$$

де η (ета) — коефіцієнт корисної дії (ККД). Зазвичай ККД подають у відсотках:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%$$

Оскільки в ході використання механізмів корисна робота завжди менша від повної, *ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %*.

2 Учимся розв'язувати задачі

Зверніть увагу! Якщо в задачі надано ККД або пропонується його знайти, розв'язання задачі краще починати із запису формули для визначення ККД. В умові задачі значення ККД краще подавати в частках (а отже, використовувати формулу: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$); а от у відповіді значення ККД краще записувати у відсотках.

Задача. Тіло масою 20 кг рівномірно піднімають похилою площиною (див. рисунок). Яку силу потрібно прикладати в напрямку руху тіла, якщо довжина похилої площини дорівнює 4 м, висота — 1 м, а ККД становить 80 %?

Дано:

$m = 20 \text{ кг}$

$l = 4 \text{ м}$

$h = 1 \text{ м}$

$\eta = 80\% = 0,8$

$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

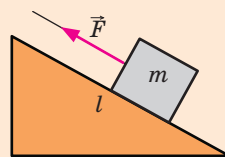
 $F = ?$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі. Скористаємось

визначенням ККД: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$.

Що роблять? Піднімають тіло. Тому корисна робота дорівнює зміні потенціальної енергії тіла: $A_{\text{кор}} = mgh$.

Як це роблять? Тягнуть тіло за мотузку, прикладаючи силу \vec{F} , напрямком якої збігається з напрямком руху тіла, тому повна робота визначається за формулою: $A_{\text{повна}} = Fl$.



Розв'язання. Підставимо вирази для $A_{\text{кор}}$ і $A_{\text{повна}}$ у формулу ККД: $\eta = \frac{mgh}{Fl}$. Звідси знайдемо вираз для визначення сили: $F = \frac{mgh}{\eta l}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини: $[F] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}$; $F = \frac{20 \cdot 10 \cdot 1}{0,8 \cdot 4} = 62,5 \text{ Н}$.

Аналіз результату. Сила 62,5 Н є меншою від ваги тіла (200 Н), тобто похила площина дала вигреш у силі в 3,2 рази, а програш у відстані — в 4 рази.

Через те що ККД площини менший від 100 %, вигреш у силі менший від програшу у відстані — це правдоподібний результат.

Відповідь: до тіла потрібно прикладати силу 62,5 Н.



Підбиваємо підсумки

На практиці корисна робота, яку ми виконуємо за допомогою будь-якого механізму, завжди є меншою від повної роботи: $A_{\text{кор}} < A_{\text{повна}}$.

Фізична величина, яка характеризує механізм і дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи, називається коефіцієнтом корисної дії механізму:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}, \text{ або у відсотках: } \eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%.$$

ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %.

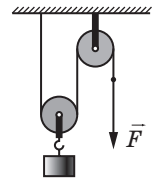


Контрольні запитання

1. Чому на практиці корисна робота завжди менша від повної роботи?
2. Дайте визначення ККД.
3. Яким є максимальне значення ККД будь-якого механізму?

Вправа № 42

1. Двигун підйомального крана виконав повну роботу 1 кДж. Визначте, чи може корисна робота дорівнювати: а) 1530 Дж; б) 10 00 Дж; в) 900 Дж.
2. За допомогою простого механізму виконано корисну роботу 120 Дж. Знайдіть ККД механізму, якщо повна робота дорівнює 150 Дж.
3. Тіло піднімають похилою площиною, виконуючи корисну роботу 180 кДж. Знайдіть повну роботу, якщо ККД похилої площини становить 90 %.
4. Тіло піднімають похилою площиною, прикладаючи в напрямку руху тіла силу 50 Н. Визначте масу тіла, якщо довжина похилої площини дорівнює 2 м, висота — 50 см, а ККД становить 80 %.
5. Вантаж масою 160 кг підняли за допомогою важеля на 25 см, прикладаючи до довгого плеча важеля силу 400 Н. Визначте ККД важеля, якщо кінець довгого плеча опустився на 1 м 25 см.
6. Вантаж масою 9 кг піднімають за допомогою пристрою, який складається з рухомого і нерухомого блоків (див. рисунок). Яку силу слід прикладати до мотузки, перекинутої через нерухомий блок, якщо ККД пристрою становить 90 %?
7. Складіть задачу, обернену до розглянутої в параграфі задачі 1, розв'яжіть її.
8. Гранітний куб з ребром завдовжки 25 см підняли з дна озера завглибшки 8 м на поверхню. Двигун підйомального пристрою виконав при цьому роботу 4 кДж. Визначте ККД пристрою.
9. Скористайтесь Інтернетом або додатковою літературою та дізнайтеся про значення ККД деяких механізмів і про роботу, яку вони виконують. Складіть 1–2 задачі за отриманими даними, розв'яжіть їх. Умови та розв'язання задач оформте на окремому аркуші.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12**

Тема. Визначення ККД похилої площини.

Мета: переконатися на досліді, що корисна робота, виконана за допомогою похилої площини, менша від повної; визначити ККД похилої площини.

Прилади та матеріали: мірна стрічка, динамометр, набір тягарців, дерев'яна лінійка, штатив із муфтою та лапкою, дерев'яний брусок.

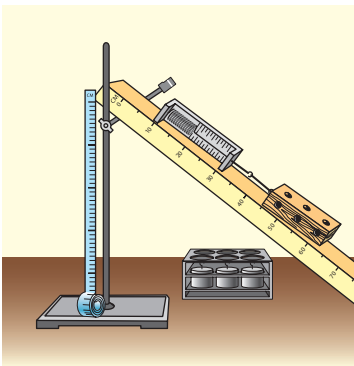
ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ**Підготовка до експерименту**

1. Перед тим як виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання:

- 1) Які види простих механізмів ви знаєте?
- 2) Як визначити коефіцієнт корисної дії?
- 3) Чому ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %?

2. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

3. Зберіть експериментальний пристрій, як показано на рисунку.



▶ Експеримент

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Виміряйте за допомогою мірної стрічки довжину l і висоту h похилої площини.
2. Визначте за допомогою динамометра вагу P_1 бруска.
3. Покладіть брусок на похилу площину і за допомогою динамометра *рівномірно* пересувайте його площиною вгору. Виміряйте силу тяги F , що діє на брусок з боку динамометра.
4. Визначте за допомогою динамометра вагу P_2 тягарця.
5. Не змінюючи кута нахилу площини, повторіть дослід (див. п. 3) ще тричі, розмістивши на бруску спочатку один, потім два, а потім три тягарці.

▶ Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліді обчисліть:
 - 1) повну роботу: $A_{\text{повна}} = Fl$;
 - 2) корисну роботу: $A_{\text{кор}} = Ph$;
 - 3) вигреш у силі, який дає похила площина: $\frac{P}{F}$;
 - 4) ККД похилої площини: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\% = \frac{Ph}{Fl} \cdot 100\%$.
2. Результати обчислень заносьте до таблиці.

Номер досліді	Вага бруска і тягарців P , Н	Висота похилої площини h , м	Корисна робота $A_{\text{кор}}$, Дж	Сила тяги F , Н	Довжина похилої площини l , м	Повна робота $A_{\text{повна}}$, Дж	Вигреш у силі $\frac{P}{F}$	ККД η , %

□ Аналіз експерименту та його результатів

Порівняйте показ динамометра зі значенням ваги бруска і зробіть висновок про вигреш у силі, який дає похила площина; порівняйте одержані значення ККД і зробіть висновок, чи залежить ККД від ваги тіла, яке піднімають похилою площиною.

+ Творче завдання

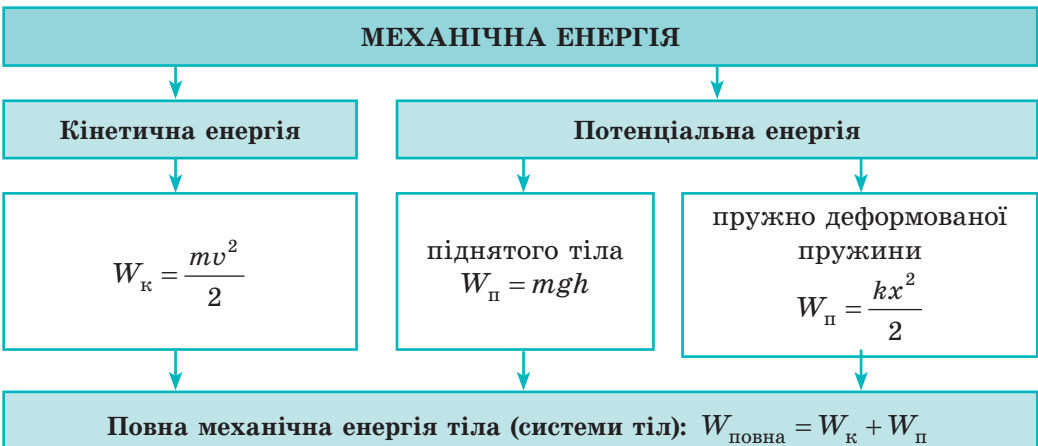
З'ясуйте за допомогою експерименту, як залежить ККД похилої площини від кута її нахилу. Чому, на вашу думку, змінюється ККД, якщо змінити кут нахилу площини?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4 «Механічна робота та енергія»

1. У розділі 4 ви дізналися про *механічну роботу, механічну енергію і потужність*.

Механічна робота, Дж	Енергія, Дж	Потужність, Вт
$A = Fl$ $[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ Характеризує рух тіла, до якого прикладено силу	$[W] = 1 \text{ Дж}$ Характеризує здатність тіла (або системи тіл) виконати роботу	$N = \frac{A}{t}$ $[N] = 1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ Характеризує швидкість виконання роботи

2. Ви навчилися розрізняти *кінетичну і потенціальну енергії* та дізналися про *повну механічну енергію*.



3. Ви ознайомилися із *законом збереження механічної енергії* та дізналися, як *змінюється механічна енергія*, якщо існує тертя:

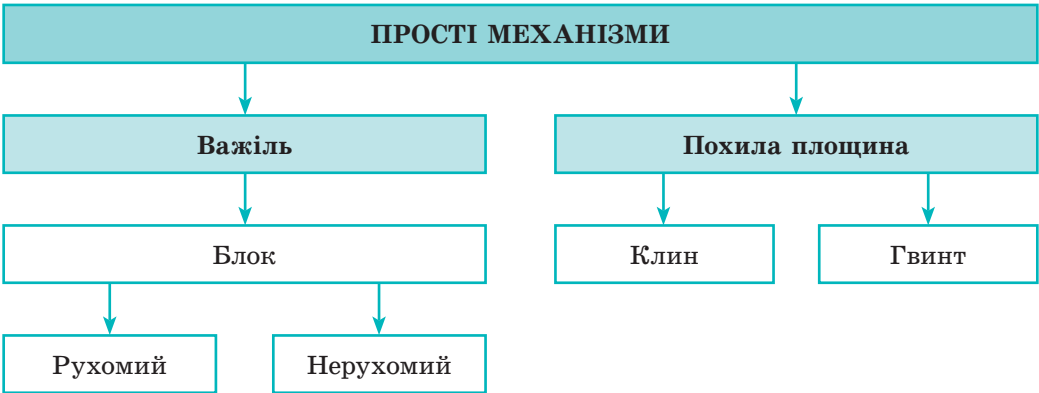
За умови відсутності тертя виконується *закон збереження механічної енергії*:

$$W_{k0} + W_{\Pi 0} = W_k + W_{\Pi}$$

Якщо в системі існує тертя, то повна механічна енергія системи зменшується:

$$W_{\text{повна}0} > W_{\text{повна}}$$

4. Ви ознайомилися з простими механізмами.



5. Ви з'ясували, що жоден простий механізм не дає виграву в роботі, та ознайомилися з фізичною величиною — коефіцієнтом корисної дії механізму.

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повн}}} \cdot 100 \%$$

Простий механізм	Виграш у силі за ідеальних умов	Виграш у відстані	ККД за ідеальних умов, %	ККД за реальних умов	Причини зменшення ККД
<p>Важіль</p>	$\frac{l_2}{l_1}$	$\frac{l_1}{l_2}$	100	$\eta = \frac{F_1 l_1}{F_2 l_2}$	Вага важеля, сила тертя в осі важеля
<p>Блок нерухомий</p>	Не дає	Не дає	100	$\eta = \frac{F_1}{F_2}$	Вага мотузок, сила тертя в осі блока
<p>Блок рухомий</p>	У 2 рази	У 0,5 разу	100	$\eta = \frac{0,5 F_1}{F_2}$	Вага блока і мотузок, сила тертя в осі блока
<p>Похила площина</p>	$\frac{l}{h}$	$\frac{h}{l}$	100	$\eta = \frac{F_1 h}{F_2 l}$	Сила тертя

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 4 «Механічна робота та енергія»

*Завдання 1–11 містять тільки одну правильну відповідь.
Вважайте, що $g = 10$ Н/кг.*

- (1 бал) Механічна робота виконується, якщо:
 - сила перпендикулярна до напрямку руху тіла;
 - тіло є нерухомим;
 - тіло рухається під дією сили;
 - на тіло не діють сили.
- (1 бал) Кінетична енергія тіла, яке рухається, залежить:
 - від маси та швидкості руху тіла;
 - тільки від висоти, на якій розташовано тіло над поверхнею Землі;
 - від висоти, на якій розташовано тіло над поверхнею Землі, і швидкості руху тіла;
 - тільки від швидкості руху тіла.
- (1 бал) Якщо потужність механізму дорівнює 100 Вт, то цей механізм:

а) за 100 с виконує роботу 1 Дж;	в) за 1 с виконує роботу 0,01 Дж;
б) за 10 с виконує роботу 10 Дж;	г) за 1 с виконує роботу 100 Дж.
- (1 бал) Рухомий блок:

а) дає виграш у силі в 2 рази;	в) дає виграш у роботі;
б) не дає виграш в силі;	г) дає виграш у відстані.
- (1 бал) Якщо використання простого механізму дає виграш у силі в 6 разів, то за ідеальних умов він дає:

а) програш у відстані в 6 разів;	в) програш у відстані в 36 разів;
б) виграш у відстані в 6 разів;	г) виграш у відстані в 36 разів.
- (2 бали) Яку роботу треба виконати, щоб витягти відро з водою із колодязя завглибшки 12 м? Маса відра з водою 8 кг.

а) 1,5 Дж;	б) 15 Дж;	в) 96 Дж;	г) 960 Дж.
------------	-----------	-----------	------------
- (2 бали) Якою є потужність двигуна, якщо за 4 хв він виконує роботу 12 кДж?

а) 50 Вт;	б) 500 Вт;	в) 3 кВт;	г) 12 кВт.
-----------	------------	-----------	------------
- (2 бали) Кран підняв вантаж вагою 24 кН, виконавши при цьому роботу 360 кДж. На яку висоту було піднято вантаж?

а) 15 см;	б) 1,5 м;	в) 15 м;	г) 21,6 м.
-----------	-----------	----------	------------
- (2 бали) За який час двигун потужністю 100 Вт виконає роботу 2 кДж?

а) 0,05 с;	б) 20 с;	в) 50 с;	г) 200 с.
------------	----------	----------	-----------
- (3 бали) Кит, плаваючи під водою зі швидкістю 18 км/год, розвиває потужність 150 кВт. Визначте силу опору води.

11. (3 бали) Загальна маса двох вантажів (рис. 1) дорівнює 25 кг. Якою є маса кожного вантажу, якщо важіль перебуває в рівновазі?
12. (3 бали) Яку силу треба прикласти до вільного кінця шнура (рис. 2), щоб рівномірно піднімати вантаж масою 12 кг? На яку висоту підніметься вантаж, якщо точка А переміститься на 20 см?

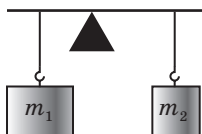


Рис. 1

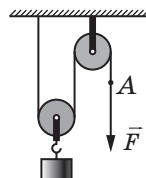


Рис. 2

13. (3 бали) За допомогою підйомника автомобіль масою 2 т підняли на висоту 2 м. Визначте виконану при цьому роботу, якщо ККД підйомника становить 80 %.
14. (3 бали) За допомогою нерухомого блока піднімають вантаж, прикладаючи силу 1,6 кН. Якою є маса вантажу, якщо ККД блока становить 80 %?
15. (4 бали) Довге плече важеля в 3 рази більше за коротке. Щоб підняти вантаж масою 60 кг, підвішений до короткого плеча важеля, до довгого плеча приклали силу 250 Н. Визначте ККД важеля.
16. (4 бали) ККД похилої площини становить 70 %. Щоб підняти вантаж масою 14 кг, необхідно прикласти силу 60 Н. Якою є довжина похилої площини, якщо її висота дорівнює 30 см?
17. (4 бали) За допомогою рухомого блока піднімають вантаж масою 40 кг, а вільний кінець мотузки тягнуть із силою 300 Н. Визначте ККД рухомого блока.
18. (4 бали) М'яч масою 0,5 кг підкидають вертикально вгору з початковою швидкістю 20 м/с. Знайдіть потенціальну і кінетичну енергії м'яча в той момент, коли швидкість його руху зменшиться у 2 рази. Опір повітря не враховуйте.
19. (4 бали) Під дією певної сили тіло масою 5 кг набуло швидкості руху 10 м/с і пройшло відстань 10 м. Знайдіть значення цієї сили. Силою тертя знехтуйте.

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

Навіщо свідомо знищувати автомобілі

Народна мудрість говорить: «Знав би, де впадеш, соломки б підстелив». Здебільшого цей вираз використовують у переносному значенні, проте й буквально його значення є правильним з точки зору фізики. «Соломка», на яку м'якше падати, — це спортивні мати у фізкультурному залі, купа порожніх картонних ящиків для страхування каскадерів та інші прості засоби захисту людини від ушкоджень під час імовірного необережного падіння. А як згадану народну мудрість використовують інженери?

Якщо тіло, що рухається, зіткнеться з перешкодою, то відбудеться деформація тіла. У випадку якщо таким тілом є, наприклад, морозиво, яке впало на підлогу, то, погодьтеся, лихо є невеликим. А от якщо автомобіль зіштовхнеться з іншим автомобілем або з бетонною огорожею, то справа може закінчитися трагедією.



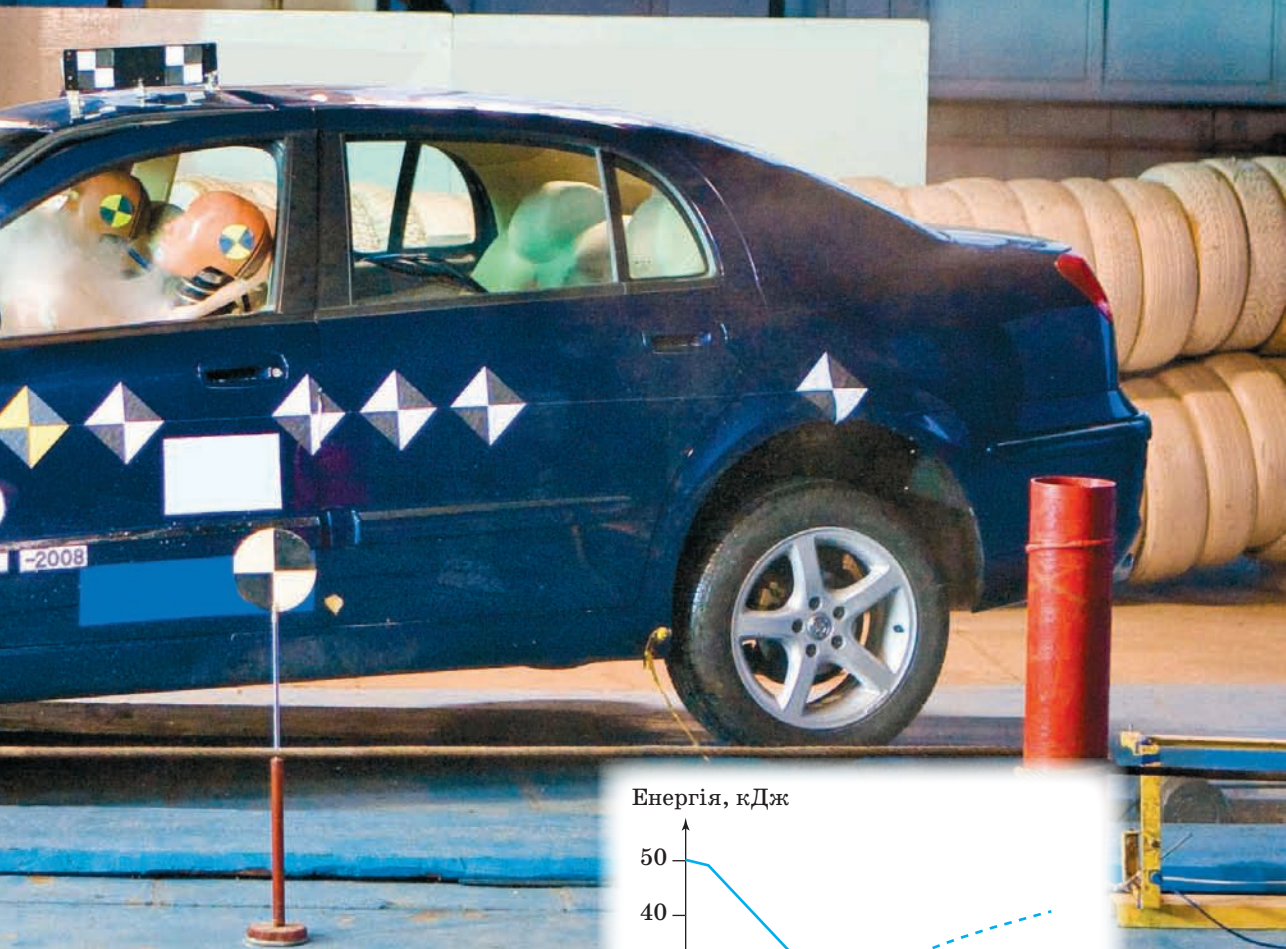
Зрозуміло, що конструктори автомобілів не можуть повністю запобігти ймовірності аварії, проте вони намагаються зробити так, щоб її наслідки були якомога меншими.

Для цього автомобілі конструюють таким чином, щоб деформації піддавалися тільки його передня (задня) частина, а салон був якнайкраще захищений від зминання. Перевірку своїх ідей інженери здійснюють за допомогою так званих *краш-тестів*. Для проведення такого тесту абсолютно новий автомобіль оснащують величезною кількістю датчиків, у салоні розміщують манекени, які теж оснащені датчиками. Після цього автомобіль розганяють до швидкості 40–60 км/год й спрямовують на перешкоду.

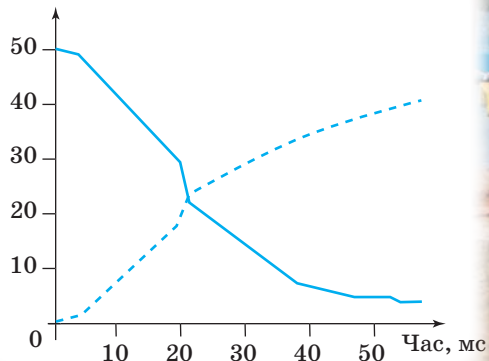
Енциклопедична сторінка

І зовсім не шкода свідомо знищувати новенький автомобіль, адже дані, отримані в результаті таких випробувань, дозволяють зберегти десятки людських життів. Обсяг даних, здобутих завдяки краш-тестам, величезний (далі йтиметься тільки про ті, що безпосередньо стосуються досліджуваної теми).

На схемі наведено графік залежності кінетичної енергії й енергії деформації від часу після зіткнення автомобіля зі стіною. (Нагадаємо: зменшення одного виду й зростання іншого виду енергії було наочно вивчене в § 30 «Перетворення механічної енергії. Закон збереження механічної енергії».) Уважні учні, напевно, помітять, що якщо додати величини енергії деформації й кінетичної енергії за швидкості, скажімо, 40 м/с, то сума буде трохи меншою, ніж початкова кінетична енергія. Це пов'язане з тим, що вихідна кінетична енергія перетвориться й на інші види енергії, які не показані на графіку.



Енергія, кДж



Результати краш-тесту: залежність кінетичної енергії (суцільна лінія) і енергії деформації (штрихова лінія) від часу випробування. Нуль на графіку позначає удар автомобіля об стіну

Теми рефератів і повідомлень

1. Важелі в живій природі.
2. Використання простих механізмів: історія і сучасність.
3. Прості механізми навколо нас.
4. Прості механізми в сучасних технічних приладах, обладнанні.
5. Історія відкриття закону збереження енергії.
6. Видатний український учений-механік С. П. Тимошенко.
7. Використання енергії води і вітру.
8. Потужність і габарити найпотужніших двигунів автомобілів, суден, літаків і ракет.

Теми експериментальних досліджень

1. Визначення потужності, яку розвивають школярі на уроках фізкультури.
2. Визначення ККД велосипеда під час нерівномірного руху.
3. Виготовлення поліспасти з підручних засобів і визначення його ККД.
4. Виготовлення пристрою, який працює на енергії води, що падає. Оцінювання його ККД.

Етапи роботи над навчальним проектом

1. Організаційний етап. Вибір теми навчального проекту, обговорення мети та завдань проекту, складання плану реалізації проекту.

План проекту — це документ, який містить заздалегідь намічений порядок дій, необхідних для досягнення мети проекту.

План допомагає оцінити власні можливості та висвітлити проблеми, які можуть виникнути під час роботи.

На цьому етапі доцільно також визначити основні етапи роботи над проектом, способи роботи на кожному етапі; терміни роботи; обов'язки та відповідальність кожного учасника проекту.

2. Підготовчий етап. Пошук інформації, яка висвітлює тему навчального проекту, а також допоможе вирішенню завдань проекту.

При пошуку матеріалів до проекту потрібно одразу їх сортувати. Для цього часто використовують портфоліо.

Портфоліо проекту — це впорядкована добірка матеріалів, зібраних з певною метою.

Електронне портфоліо проекту — це спеціальна папка, в якій зберігаються матеріали проекту за певною структурою.

Електронне портфоліо дозволяє здійснювати швидкий пошук документів; його легко редагувати, доповнювати, переносити, зберігати і т. д.

Використовуючи додаткову літературу, інтернет-ресурси тощо, не забувайте зберігати посилання на кожне джерело інформації — записувати назву ресурсу, ім'я автора. Пам'ятайте про авторське право!

3. Проектний етап. Опрацювання зібраної інформації, створення моделі навчального проекту.

Для уточнення отриманої інформації та одержання додаткової інформації можна звертатися до довідників, словників, а також до вчителя.

4. Оформлювальний етап. Оформлення результатів роботи над навчальним проектом, створення презентації для захисту проекту.

Щоб презентація проекту відбулася успішно, необхідно приділити час для її ретельної підготовки. Переконайтеся, що ви виконали всі завдання проекту. Підготуйте доповідь. Для доповіді вибирайте найголовніше, викладайте свої думки коротко, чітко, зрозуміло.

Якщо ви плануєте презентувати проект з комп'ютерною підтримкою, то заздалегідь напишіть план, у якому позначте послідовність слайдів.

Орієнтовно це можна зробити так.

Вміст слайда	Вміст доповіді
Тема проекту, виконавці	Повідомте тему проекту та представте виконавців.
Ключове питання	Повідомте ключове питання, яке відображає тему та мету проекту.
Матеріали проекту	Розкажіть про ваші дослідження.
Висновки	Зробіть висновки.
Список джерел	Назвіть джерела, якими ви користувалися під час роботи над проектом.
Подяка	Подякуйте всім, хто допомагав вам у роботі над проектом. Подякуйте всім присутнім за увагу, побажайте успіхів.

5. Презентаційний етап. Демонстрація результатів навчального проекту, захист ідеї проекту та отриманих результатів.

6. Підсумковий етап. Аналіз виконання завдань навчального проекту, визначення результатів проекту: яку користь приніс або може принести проект.

Загальні правила презентації проекту

1. Доповідати треба з гарним настроєм. Не забувайте про свій зовнішній вигляд, слідкуйте за поставою.

2. Під час доповіді дивіться на аудиторію.

3. Слова вимовляйте голосно та чітко.

4. Чітко назвіть себе, тему виступу та проблему, над якою ви працювали.

5. Не читайте доповідь з аркуша, а лише звіряйтеся з нотатками, щоб нічого не пропустити.

6. Стежте за часом виступу. Він не повинен перевищувати регламент.

Регламент — це час, який відведено на виступ. Про свій регламент слід дізнатися заздалегідь, ще під час підготовки до виступу.

7. Будьте готові відповідати на запитання. Відповідь на будь-яке запитання бажано починати з подяки тому, хто його поставив.

8. Після завершення доповіді та відповідей на запитання подякуйте всім присутнім за увагу.

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ ТА ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ 1. «Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання»

№ 1. 3. а) Механічне; б) теплові; в) світлові. 5. Ні. **№ 2.** 1. У другий. 2. Так. 4. Ні. 5. $1 \cdot 10^7$; $1 \cdot 10^{-6}$; $5 \cdot 10^3$; $3 \cdot 10^{-6}$. 6. 50 млн. молекул. 7. Діаметр молекул близько $1 \cdot 10^{-9}$ м. **№ 3.** 1. Ньютона; перо та молоток впали на поверхню Місяця одночасно. 2. Однакові. 3. 1 – в, 2 – а, 3 – б. **№ 4.** 1. 0,145 м; 1500 м; 2032 м. 2. а) Швидкість, v , м/с; б) довжина, l , м. 3. Верхня межа — 60 мл, нижня — 2 мл, $C = 2$ мл. 4. Ні, на шкалах не вказані одиниці. 5. 7,5 мкм; 5,9 Тм; 6,4 Мм. 6. $4,2 \cdot 10^4$ дм²; $4,2 \cdot 10^6$ см². **№ 5.** 1. У випадку вимірювання лінійкою. 2. 1) $l = (2,0 \pm 0,5)$ см, $d = (2,5 \pm 0,5)$ см, $h = (4,0 \pm 0,5)$ см; 2) $\epsilon_l = 25\%$, $\epsilon_d = 20\%$, $\epsilon_h = 12,5\%$; 3) результат вимірювання висоти. 4. Ні. 5. 11 разів. 6. а) 3; б) 3,1; в) 3,14; г) 3,142; д) 3,1416. **№ 6.** 1. $\approx 19,5$ сторіч. 2. ≈ 3 сторіччя.

Завдання для самоперевірки до розділу 1

1. А. 2. В. 3. В. 4. Б. 5. Б. 6. А. 7. Б, Д. 8. В. 9. А. 10. Мірний циліндр (об'єм, см³, 70 см³, 0,2 см³, 0,2 см³, 40 см³). Термометр (температура, °С, 58 °С, -32 °С, 0,1 °С, -22 °С). 11. 1 – Б; 2 – Г; 3 – В; 4 – Є; 5 – А; 6 – Д. 12. 2 мм. 13. $l = (3,5 \pm 0,5)$ см, $\Delta l = 0,5$ см, $\epsilon_l \approx 14,3\%$.

Розділ 2. «Механічний рух»

№ 7. 3. 3 другим. 4. $l_{Д-К} = 3$ км; $l_{Д-С} = 4,5$ км; $l_{К-С} = 1,5$ км. 5. Якщо вісь OX напрямлена на схід, тоді А (200; 100), В (-200; -400), С (-200; -400). **№ 8.** 1. а) Так; б) ні. 2. Шлях може бути різним, переміщення однакове. 3. $l = 10$ км; $s_{\min} = 0$. 4. $l = 10$ м; $s = 0$. 6. Відносно пілота — коло; відносно Землі — гвинтова лінія. 7. а) $l = 40,82$ м, $s = 26$ м; б) $l = 81,64$ м, $s = 0$. 8. а) Відносно потяга 7,5 м, відносно Землі 407,5 м; б) відносно потяга 7,5 м, відносно Землі 392,5 м. 9. $s = 10$ м; не можна. 10. а) 2,5; б) 2; в) 15. **№ 9.** 1. Ні. 2. 54 км/год = 15 м/с, 16 м/с > 54 км/год. 3. 0,56 м/с; 0,45 м/с. 4. 25 хв. 12 с. 5. 54 км. 7. 1 м/с, або 3,6 км/год. 8. $\approx 9,46 \cdot 10^{12}$ км. 9. Швидше за всіх — третій учень; подолав найбільшу відстань і біг довше за всіх — другий учень. 10. Додому; $\approx 1,3$. 11. Відносно першого — 36 км/год, другого — 6 км/год. 12. 50 с. 14. 5 м/с; 300 м/с; 0,2 м/с; 7,2 км/год; 1800 км/год; 72 км/год. **№ 10.** 1. Тіла рухались рівномірно; найшвидше — І тіло. 4. б) Від 0 до 2 с — $v = 10$ м/с, від 2 до 6 с — 5 м/с, від 6 до 8 с — 0; в) 40 м. 5. а) 600 м; б) 25 с; в) 200 м. 7. $x = 34$; $a = -7$; $t = 2$. **№ 11.** 1. 100 м; 100 м. 2. 1000 м. 3. а) $x = 500 - 2,5t$; б) $x_1 = -4000$ м. 4. а) $v_0 = 4$ м/с; б) $x_0 = 5$ м; в) $x = 13$ м. 5. б) $x_m = 200 + 5t$, $x_T = 800 - 5t$. 6. а) $x_{0a} = -50$ м, $x_{0p} = 200$ м, $x_{0v} = 325$ м; б) $x_a = -50 + 20t$, $x_p = 200 - 2t$, $x_v = 325 + 5t$; в) $x_a = 150$ м, $x_p = 180$ м, $x_v = 375$ м; г) $t_{a-p} = 11,4$ с; д) $t_{a-v} = 25$ с. **№ 12.** 2. 10 км/год. 3. 70 км/год. 4. а) 15 км/год; б) 18 км/год; в) 13,5 км/год. 5. 700 км/год. 6. 75 км/год. 7. а) 20 с розганявся, 10 с рухався рівномірно, 30 с гальмував, потім зберігав стан спокою; б) 700 м; в) 10 с; г) 42 км/год. **№ 13.** 1. 0,75 с. 2. 15 об/с. 3. 5 об/с. 4. 16,7 с. 5. $n_{хв}/n_{год} = 12$; $T_{хв}/T_{год} = 1/12$. 6. Ні. 7. 1 с. 8. 42 100 км. **№ 14.** 1. Шлях, отже, і час руху буде меншим. 3. 108 000 км/год, або 30 км/с. 4. $n \approx 160$ об/с; $T \approx 6,3$ мс. 5. 375 обертів. 6. У 20 разів. **№ 15.** 1. 2 см. 2. 2 с. 3. 2 Гц. 4. 480. 6. 12 м. 8. 10 см; 20 см; 80 см; ні.

Завдання для самоперевірки до розділу 2

1. Б. 2. Г. 3. Б. 4. А. 5. В. 6. Б. 7. А. 8. В. 9. 3 км/год. 11. 0,9 м/с; 2,24 км/год. 12. Першого, у 2,5 рази. 13. $x = -10$ м. 14. $v_{\max} = 75$ км/год, $l \approx 2,03$ км. 15. $v_2 = 70$ км/год; $v_{\text{сеп}} = 80$ км/год.

Розділ 3. «Взаємодія тіл. Сила».

Частина 1. Сила. Види сил

№ 16. 2. Дії Землі і води компенсують одна одну. 4. Можна. 6. Від газів, які вилітають із сопла ракети. 9. $5,3 \cdot 10^3$ кг; $2,5 \cdot 10^2$ кг; 4,7 кг; $1,5 \cdot 10^{-1}$ кг; $1,23 \cdot 10^{-3}$ кг; $5,0 \cdot 10^{-5}$ кг. **№ 17.** 1. а. 2. Автомобіль набагато інертніший, ніж кулька. 3. 189 г 740 мг. 4. 45 кг. 6. Ні. 7. 20 м/с. 11. 455 г = $4,55 \cdot 10^{-1}$ кг. **№ 18.** 1. а) Не зміниться; б) зменшиться; в) збільшиться. 2. 21,5 т, 21,5 г. 4. Якщо середні густини тіл є рівними. 5. Маса меду; $\approx 1,6$ разу. 6. Оргскла; у 1,5 рази. **№ 19.** 1. Із сосни. 2. 100 л. 3. а) $\rho = 900$ кг/м³; б) $V = 20$ см³; в) $m = 25 \cdot 10^3$ кг. 5. Порожниста; $\rho = 10,1$ г/см³, це менше від густини срібла. 6. 1200 т. 7. Маса повітря більша. 10. 0,4 кг. **№ 20.** 3. 1 кН. 4. 300 Н; 0. 5. 120 Н або 20 Н. 6. Так. 7. 20 Н; 80 Н; 120 Н; 180 Н; 8 розв'язків, якщо врахувати напрямок рівнодіної.

№ 21. 3. 10 см. 4. Кручення, стиснення, розтягнення, вигину та зсуву. 5. 13,5 см. 6. $x = 5$ см; $t = 2,4$ с; $x = 6$ см; $F = 1$ Н. № 22. 1. Стільниця деформується; вгору. 2. 2 Н. 3. а) 50 Н/м; б) 20 кН/м; в) 600 кН/м. 4. а) $k = 650$ Н/м; б) $F = 0,8$ Н; в) $x = 3$ м. 5. 168 Н. 6. $k_1 = 2$ кН/м, $k_2 = 500$ Н/м; $x_1 = 2,5$ см, $x_2 = 10$ см. 7. 45 см. 8. ≈ 11 см. № 23. 1. Вага діє на стіл; сила тяжіння діє на книжку. 2. 6 Н. 3. 60 кг. 4. г). 5. 100 г. 7. 70 Н. 8. $\approx 3,1$ г/см³, 80 Н/м. 10. $\Delta P = 0,25$ Н, $\epsilon_p = 12,5\%$. № 24. 1. Ні. 2. Тертя ковзання замінюється рідким тертям. 3. а) 3 Н; б) брусок буде зберігати стан спокою; 2 Н.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина I

1. Г. 2. Б. 3. В. 4. Б. 5. В. 6. А. 7. Б. 8. В. 9. \vec{F}_1 — сила тертя, \vec{F}_2 — сила тяги; $F_1 = F_2$. 10. $F_{\text{тяж}} = 80$ Н, напрямлена вниз, $P = 80$ Н, напрямлена вниз, $N = 160$ Н, напрямлена вгору. 11. А — 5, Б — 3, В — 1, Г — 4. 12. 40 Н. 13. Воду. 14. 8540 кг/м³. 15. 75 Н/м. 16. 250 кг.

Частина 2

№ 25. 1. Зменшиться. 4. 3 МПа. 5. а) На 1 м² ґрунту трактор діє із силою 45 кН; б) 67,5 кПа. 6. 350 Па; 15 000 Па; 360 Па. 7. 60 кг. № 26. 1. Збільшиться; не можна. 3. Збільшиться. 4. На законі Паскаля. 5. Тиск передається кожному шару рідини. 7. 1,6 кг. № 27. 1. 200 Па. 2. 10 МПа. 3. Збільшиться. 4. ≈ 90 см. 5. Тиск однаковий; $F_{\text{тиску } 2} > F_{\text{тиску } 1}$. 7. Так. 8. 80 кг. 9. 24 кН; $\approx 2,4$ т. № 28. 1. Так. 2. Тиск повітря над поверхнею води у соломинці менший за атмосферного. 3. $\approx 133,3$ Па. 4. 73,3 кПа; 700 мм рт. ст. 7. 220 м. № 29. 1. Більший на 2 кПа. 3. 94,7 кПа. 6. 73 гПа. 9. 500 Н, $F = p \cdot S$; 50 кПа, $p = F/S$; 20 см², $S = F/p$. № 30. 2. Вниз. 3. 600 Н. 4. 100 Н. 5. 60 см². 6. 400 кг. 7. 1200 Н. 8. а) униз; б) 5кН; в) 50; г) 2мм. 10. 4м. № 31. 1. а) $F_{\text{Арх } 1} = F_{\text{Арх } 2} = F_{\text{Арх } 3}$; б) $F_{\text{Арх } 3} < F_{\text{Арх } 1} < F_{\text{Арх } 2}$; в) $F_{\text{Арх } 1} < F_{\text{Арх } 2} < F_{\text{Арх } 3}$; г) $F_{\text{Арх } 1} = F_{\text{Арх } 2} = F_{\text{Арх } 3}$. 2. Щоб на човен почала діяти виштовхувальна сила. 3. 3,2 Н. 4. 1 дм³. 5. 1/4 частина бруска. 6. 6 Н. 7. 54 кг; 2700 кг/м³. 8. Закон Паскаля — так; закон Архімеда — ні. 9. 1,4 т. 10. Ні. № 32. 1. Так; ні; ні. 2. $\rho_4 < \rho_3 < \rho_1 < \rho_2$. 3. Так. 5. 200 г. 6. Нижній шар — ртуть, середній — вода, верхній — бензин; 1 — пінопластова, 2 — дубова, 3 — сталева. 7. 14 м³, 14 т. 9. А — 4, Б — 3, В — 2, Г — 1. 11. 2500 кг/м³, 80 Н, $\rho_T = m_T/V_T$, $F_{\text{Арх}} = V_T \rho_p g$; 80 кг, 20 дм³, $m_T = \rho_T V_T$, $V_T = F_{\text{Арх}}/\rho_p g$; в) $V = m/\rho = 250$ см³; 800 кг/м³. № 33. 1. а) 150 МН; б) 145 МН. 2. 900 кг. 3. а) 1 Н; б) 2 Н. 4. Виштовхувальна сила збільшиться; осадка судна зменшиться. 5. 0,9 кг/м³. 6. Зменшиться на 583 м³. 7. 0,99 кг/м³.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина II

1. Б. 2. Б. 3. Б. 4. В. 5. В. 6. А. 7. В. 8. 33 ГПа. 9. А — 5, Б — 3, В — 2, Г — 1. 10. б, в, а, г. 11. 57,3 кПа. 12. 1020 мм рт. ст. 13. 25 кПа. 15. 15 м. 16. 16 см. 17. 4 мм. 18. 200 см³. 19. 4000 кг/м³.

Розділ 4. «Механічна робота та енергія»

№ 34. 1. Ні; ні. 2. а) Ні; б) ні; в) так, від'ємну; г) так, додатну. 4. Ні. 5. 3 м. 6. Сила тяжіння; 200 Дж. 7. 1 м/с. 8. 120 Дж. № 35. 1. Одинадцятикласник. 2. Так, зменшиться. 3. Під час підйому збільшується, під час спуску зменшується. 4. 3,2 кДж. 5. 6 с. 6. 50 кН. 8. 12,5 кВт. 9. $7,5 \cdot 10^5$ м³. № 36. 2. Під час зльоту збільшується, під час посадки зменшується. 3. 24 Дж. 4. Збільшилася на 1,3 кДж. 5. 40 см. 7. 10 м/с; 2,5 м/с; 30 м/с. 8. 0,025 м/с. № 37. 2. 2,5 кДж. 3. Збільшилася на 4 МДж. 4. 2,5 кг. 5. Першого, \approx в 1,8 рази. 6. 12,8 Дж. 7. а) 225 кДж; б) 2,25 кН. 8. 10 кН. 10. А — 5, Б — 3, В — 2, Г — 1. № 38. 1. Ні. 3. 250 Дж. 4. 180 Дж. 5. 15 м. 6. $W_k = W_{\text{п}} = 50$ Дж. 7. 2,4 м. 8. 50 кДж. № 39. 2. Дівчинки. 3. 54 Н. 4. 16 кг. 5. 18 кг; 30 кг. 6. 30 см. 7. 80 кг. 8. 1,2 кН; 1,55 кН. 9. 20 кг. № 40. 1. а) Рухомий; б) на 5 см; в) 30 Н. 2. 8 кг. 3. 250 Н; 12 см. 4. 30 кг; 15 см. 5. 510 Н. 6. $mg/4$. 7. У 4 рази. № 41. 1. На 60 см. 2. 250 Н. 3. 100 Н; на 5 м. 4. На 7,5 см. 5. 150 Н. 7. $\rho = F/ghS$; $S = F/\rho gh$; $m = Fln/gh$; $F = mgh/nl$. № 42. 1. а) Ні; б) ні; в) так. 2. 80 %. 3. 200 кДж. 4. 16 кг. 6. 50 Н. 8. 50 %.

Завдання для самоперевірки до розділу 4

1. В. 2. А. 3. Г. 4. А. 5. А. 6. Г. 7. А. 8. В. 9. Б. 10. 30 кН. 11. $m_1 = 15$ кг; $m_2 = 10$ кг. 12. 60 Н; 10 см. 13. 50 кДж. 14. 128 кг. 15. 80 %. 16. 1 м. 17. 66,7 %. 18. $W_{\text{п}} = 75$ Дж; $W_k = 25$ Дж. 19. 25 Н.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** Амплітуда коливань 96
Атом 13
- Б** Барометр 179
Блок 244
— нерухомий 244
— рухомий 245
- В** Вага тіла 153
Важіль 237
Ват 221
- Г** Гіпотеза 19
Графік
— швидкості руху 68
— шляху 69
Густина
— речовини 123
— тіла 126
- Д** Деформація 139
Джоуль 217
Динамометр 146
Дифузія 15
- Е** Експеримент 18
Енергія 225
— кінетична 230
— повна механічна 231
— потенціальна 226
Еталон 116
- Ж** Жорсткість 145
- З** Закон
— Архімеда 193
— Гука 145
— збереження повної механічної енергії 233
— Паскаля 172
- І** Інерція 112
Інертність 115
- К** Кілограм 116
Коефіцієнт
— корисної дії 252
— тертя ковзання 158
- М** Манометр 183
Маса тіла 116
Матеріальна точка 56
Матерія 7
Маятник 94
— математичний 95
Межа вимірювання 27
Механічний рух 52
— коливальний 94
— нерівномірний 78
— рівномірний 61
— рівномірний по колу 84
— рівномірний
прямолінійний 73
Міжнародна система
одиниць СІ 23
Молекула 13
Момент сили 239
- Н** Насос
— всмоктувальний 191
— нагнітальний 191
Невагомість 154
Ньютон 135
- О** Одиниця
— кратна 24
— частинна 24
Основні положення МКТ 16
- П** Паскаль 167
Переміщення 58
Період
— коливань 96
— обертання 84
Плече сили 236
Поле 8
Посудини сполучені 182
Потужність 221
Похибка вимірювання 32
Похила площина 249
Правило
— важеля 237
— моментів 239
Прес гідравлічний 188
- Р** Речовина 7
Робота механічна 216
- С** Сила 135
— архімедова (виштовхувальна) 193
— пружності 144
— рівнодійна 136
— тертя ковзання 158
— тертя кочення 160
— тертя спокою 157
— тяжіння 153
Система відліку 54
Спостереження 18
- Т** Тіло
— відліку 53
— фізичне 7
Тиск 166
— атмосферний 177
— гідростатичний 174
Траєкторія руху 55
- Ф** Фізика 10
Фізична величина 23
Фізична модель 20
Фізичне явище 8
- Ц** Ціна поділки шкали приладу 27
- Ч** Частота
— коливань 96
— обертова 85
- Ш** Швидкість
— рівномірного прямолінійного руху 73
— рівномірного руху 61
— рівномірного руху по колу 90
— середня 79
Шлях 57

**Розділ 1. Фізика як природнича наука.
Методи наукового пізнання**

§ 1. Фізика — наука про природу. Фізичні тіла та фізичні явища	6
§ 2. Початкові відомості про будову речовини. Молекули. Атоми	13
§ 3. Наукові методи вивчення природи	18
§ 4. Фізичні величини. Вимірювання фізичних величин	23
Лабораторна робота № 1	30
§ 5. Похибки й оцінювання точності вимірювань	31
Лабораторна робота № 2	35
Лабораторна робота № 3	38
§ 6. Творці фізичної науки. Внесок українських учених у розвиток фізики	40
Підбиваємо підсумки розділу 1	44
Завдання для самоперевірки за розділом 1	46
Енциклопедична сторінка.	48
Теми рефератів і повідомлень.	50
Теми експериментальних досліджень	50

Розділ 2. Механічний рух

§ 7. Механічний рух. Відносність руху. Система відліку	52
§ 8. Матеріальна точка. Траєкторія руху. Шлях. Переміщення	55
§ 9. Рівномірний рух. Швидкість руху	61
§ 10. Графіки рівномірного руху	67
§ 11. Рівномірний прямолінійний рух. Рівняння руху	72
§ 12. Нерівномірний рух. Середня швидкість нерівномірного руху.	78
§ 13. Рівномірний рух матеріальної точки по колу. Період обертання	84
§ 14. Швидкість рівномірного руху по колу	88
Лабораторна робота № 4	92
§ 15. Коливальний рух. Амплітуда, період і частота коливань	94
Лабораторна робота № 5	100
Підбиваємо підсумки розділу 2	102
Завдання для самоперевірки за розділом 2	104
Енциклопедична сторінка.	106
Теми рефератів і повідомлень.	108
Теми експериментальних досліджень	108

Розділ 3. Взаємодія тіл. Сила**Частина I. Сила. Види сил**

§ 16. Явище інерції	110
§ 17. Інертність тіла. Маса як міра інертності.	115
Лабораторна робота № 6	121
§ 18. Густина. Одиниці густини	122
Лабораторна робота № 7	128
§ 19. Учимося розв'язувати задачі	130
§ 20. Сила — міра взаємодії. Графічне зображення сил. Додавання сил	134
§ 21. Деформація тіла. Види деформації	139
§ 22. Сила пружності. Закон Гука	144
Лабораторна робота № 8	149
§ 23. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість	152

§ 24. Тертя. Сили тертя	157
Лабораторна робота № 9	162
Завдання для самоперевірки за розділом 3, частина I.	164

Частина II. Тиск. Закон Архімеда. Плавання тіл

§ 25. Тиск твердих тіл на поверхню. Сила тиску	166
§ 26. Тиск газів і рідин. Закон Паскаля.	170
§ 27. Гідростатичний тиск	174
§ 28. Атмосферний тиск і його вимірювання. Барометри	177
§ 29. Сполучені посудини. Манометри	182
§ 30. Гідравлічні машини. Насоси	188
§ 31. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон Архімеда	191
§ 32. Умови плавання тіл.	196
Лабораторна робота № 10	201
§ 33. Судноплавство та повітроплавання.	203
Завдання для самоперевірки за розділом 3, частина II	208
Підбиваємо підсумки розділу 3	210
Енциклопедична сторінка.	212
Теми рефератів і повідомлень.	214
Теми експериментальних досліджень	214

Розділ 4. Механічна робота та енергія

§ 34. Механічна робота. Одиниці роботи	216
§ 35. Потужність	220
§ 36. Енергія. Потенціальна енергія тіла.	224
§ 37. Кінетична енергія тіла. Повна механічна енергія	229
§ 38. Закон збереження і перетворення механічної енергії	232
§ 39. Момент сили. Умови рівноваги важеля	237
Лабораторна робота № 11	242
§ 40. Рухомий і нерухомий блоки.	244
§ 41. Прості механізми. «Золоте правило» механіки	248
§ 42. Коефіцієнт корисної дії механізмів.	251
Лабораторна робота № 12	254
Підбиваємо підсумки розділу 4	256
Завдання для самоперевірки до розділу 4.	258
Енциклопедична сторінка.	260
Теми рефератів і повідомлень.	262
Етапи роботи над навчальним проектом	262
Відповіді до вправ та завдань для самоперевірки.	264
Алфавітний покажчик	266

Навчальне видання
*БАР'ЯХТАР Віктор Григорович, ДОВГИЙ Станіслав Олексійович,
БОЖИНОВА Файна Яківна, ГОРОБЕЦЬ Юрій Іванович,
НЕНАШЕВ Ігор Юрійович, КІРЮХІНА Олена Олександрівна*

ФІЗИКА

Підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів

Редактори *Морева І. Л., Костіна О. В.*

Технічний редактор *Труфен В. І.*

Художник *Хорошенко В. Д.*

Фото *Солонський С. П.*

Коректор *Долженко Н. Є.*

Формат 70x100/16. Гарнітура Школьная. Ум. друк. арк. 21,78.

ТОВ Видавництво «Ранок».

Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008. 61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.com.ua

Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

www.ranok.com.ua

ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

Про фізичне явище

- 1) зовнішні ознаки плину цього явища, умови, за яких воно відбувається;
- 2) зв'язок цього явища з іншими;
- 3) які фізичні величини характеризують це явище;
- 4) можливості практичного використання, способи запобігання шкідливим наслідкам прояву даного явища

Про прилад або пристрій

- 1) призначення;
- 2) конструкція, схема;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування і правила користування;
- 5) переваги та недоліки

Про фізичну величину

- 1) властивість, яку характеризує ця фізична величина;
- 2) означення (дефініція);
- 3) формула, покладена в основу визначення, зв'язок з іншими фізичними величинами;
- 4) одиниці;
- 5) способи вимірювання

Про фізичний закон

- 1) формулювання, зв'язок між якими явищами встановлює цей закон;
- 2) математичний вираз;
- 3) дослідні факти, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливість;
- 4) межі застосування

МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Прямолінійний рівномірний рух

швидкість, $\frac{м}{с}$

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

шлях, м

час руху, с

Обертальний рух

період обертання, с

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

← час обертання, с

← кількість обертів

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

← час обертання, с

частота обертання, $\frac{об}{с}$

Коливальний рух

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

← час коливань, с

← кількість коливань

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

← час коливань, с

частота коливань, Гц

СИЛИ

Сила тяжіння, Н

маса, кг

$$F_{\text{тяж}} = mg$$

прискорення
вільного падіння, $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Сила пружності, Н

видовження, м

$$F_{\text{пруж}} = kx$$

жорсткість, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

Сила тертя ковзання, Н

сила реакції опори, Н

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$$

коефіцієнт тертя
ковзання

Сила тиску, Н

тиск, Па

$$F = pS$$

площа поверхні, м^2

Вага тіла, Н

маса, кг

$$P = mg$$

прискорення
вільного падіння, $\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Архімедова сила, Н

густина рідини, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан. част}}$$

об'єм зануреної частини, м^3

РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

**Механічна
робота, Дж**

шлях, м

$$A = Fl$$

сила, Н

**Потужність,
Вт**

механічна
робота, Дж

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

**Потенціальна
енергія, Дж**

висота відносно
нульового рівня, м

$$W_{\text{п}} = mgh$$

**Кінетична
енергія, Дж**

швидкість
руху, м/с

$$W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$$

Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

маса, кг

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

об'єм, м^3

Тиск, Па

сила тиску, Н

$$P = \frac{F}{S}$$

площа
поверхні, м^2

**Гідростатичний
тиск, Па**

густина рідини, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$P = \rho gh$$

висота стовпа
рідини, м

**Коефіцієнт
корисної дії,**

корисна
робота, Дж

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%$$

повна робота, Дж