ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ІНТЕРНЕТ-
ПІДТРИМКА

ФІЗИКА

7 КЛАС

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



ФІЗИКА

7 КЛАС

Підручник для 7 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

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

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Харків
Видавництво «Ранок»
2015

www.e-ranok.com.ua

УДК [37.016:53](075.3)
ББК 22.3я721
Ф 50

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 20.07.2015 р. № 777)

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 щиру подяку:
доктору *Андреасу Ґінсбаху*, вчителю фізики і математики
Міжнародної школи в Силіконовій Долині (США);
М. М. Кірюхіну, президенту Спілки наукових і інженерних об'єднань України,
кандидату фізико-математичних наук;
І. В. Хован, учителю фізики НВК «Домінанта», кандидату педагогічних наук,
за слушні зауваження й конструктивні поради, що сприяли покращенню
змісту підручника;

І. С. Чернецькому, завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань
Національного центру «Мала академія наук України», кандидату педагогічних наук,
за створення відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку
в Національному центрі «Мала академія наук України»*

Ф 50 **Фізика** : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [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. — 256 с. : іл., фот.

ISBN 978-617-09-2393-6

УДК [37.016:53](075.3)
ББК 22.3я721

ІНТЕРНЕТ-ПІДТРИМКА
Для користування
електронними матеріалами
до підручника увійдіть на сайт
interactive.ranok.com.ua

Служба технічної підтримки:
тел. (098) 037-54-68
(понеділок–п'ятниця з 9:00 до 18:00)
E-mail: interactive@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., Вірченко М. Ю., фотографії, 2015
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2015

ISBN 978-617-09-2393-6

www.e-ranok.com.ua

Дорогі друзі!

Цього навчального року починається ваша подорож світом нової для вас науки — фізики. 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! А підручник, який ви тримаєте в руках, стане для вас надійним помічником.

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

Зверніть увагу на те, 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 параграфа.

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, оранжевий, 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 в матеріалах, позначених «*».

www.e-ranok.com.ua

Чимало цікавого очікує на вас на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання» (interactiv.ranok.com.ua). Це відеоролики, що демонструють етапи проведення всіх запропонованих у підручнику лабораторних робіт, показують у дії той чи інший фізичний дослід або процес; інформація, яка допоможе вам у виконанні завдань; тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

Фізика — наука насамперед експериментальна, тому в підручнику на вас очікують *експериментальні завдання* та *лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви будете краще розуміти й любити фізику. Радимо опрацьовувати *завдання «із зірочкою»*. Це допоможе навчитися подавати результати експериментів так, як це роблять справжні вчені. Перед цим слід ознайомитися з відповідним матеріалом у § 5.

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

У разі роботи над *навчальними проектами* радимо уважно ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації, поданими наприкінці підручника.

Для тих, хто хоче більше дізнатися 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»*.

Зверніть увагу на те, в підручнику використані позначки, які допоможуть вам орієнтуватися в поданому матеріалі:

 Підбиваємо підсумки

 Контрольні запитання

 Вправа

 Завдання на повторення

 Експериментальне завдання

i Інтернет-підтримка

Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!

www.e-ranok.com.ua

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА. ПІЗНАННЯ ПРИРОДИ

- Ви знаєте, як виміряти довжину предметів, наприклад шнура, а дізнаєтесь, як визначити розмір молекули
- 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



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

У перекладі з давньогрецької слово «фізика» означає «природа». Отже, *фізика — наука про природу,* або *природнича наука*. Звернемося до тлумачного словника. Словом «природа» зазвичай називають навколишній нерукотворний світ. Але існує також інше тлумачення: природа — це сутність, основна властивість чого-небудь. Згадайте: «природа блискавки», «природа вулканічної діяльності», «природа тіл Сонячної системи». Спробуємо з'ясувати, в якому ж розумінні використано слово «природа» в назві предмета, який ви починаєте 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 піднімати й переміщувати важкі камені, щоб збудувати домівку з міцними стінами; виплавляти метал із руди, щоб виготовити плуги, сокири, надійні й гострі наконечники стріл...

Проте не тільки практичні потреби спонукали до вивчення природи. Допитливість, властива людині, штовхала її до пошуку відповідей на численні питання (рис. 1.1): 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? 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).

У стародавні часи виникла астрономія — *наука*, що вивчала розташування та рух небесних тіл, потім — *філософія* (у перекладі



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

www.e-ranok.com.ua



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

з давньогрецької це слово означає «любов до мудрості»). Філософи збирали знання про навколишній світ, доповнювали їх власними ідеями та передавали своїм учням.

Засновником фізики вважають давньогрецького філософа *Аристотеля* (рис. 1.3). Одну зі своїх праць, у якій Аристотель систематизував природничі знання свого часу, він назвав «Фізика».

2 З'ясовуємо, що вчені називають матерією

З античних часів у науці використовують 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. 1.4). Будь-яке фізичне тіло складається з *речовини* — металу, пластику, дерева, повітря тощо. **Речовина** — *це один із видів матерії.*

Фізичне тіло — це об'єкт із речовини, який має зовнішню границю.

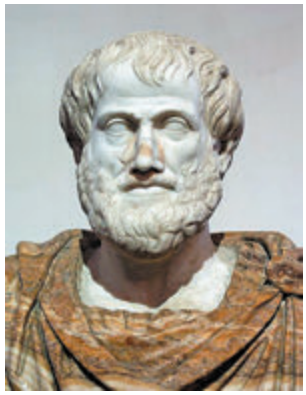


Рис. 1.3. Аристотель (384–322 рр. до н. е.)



Рис. 1.4. Приклади фізичних тіл

www.e-ranok.com.ua









Рис. 1.5. Приклади природних явищ

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

Спробуйте навести ще кілька подібних прикладів.

У XIX ст. учені встановили, що крім речовини існує *ще один вид матерії* — **поле**. Наприклад, за допомогою електромагнітного 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. Світло теж є прикладом електромагнітного поля.

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

Наприкінці XX ст. науковці відкрили за межами Сонячної системи 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 цих субстанцій — одна з головних проблем сучасної фізики.

3 Розглядаємо фізичні явища

Світ навколо нас 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* (бл. 544–483 рр. до н. е.) зауважив: «Усе тече, усе змінюється». Зміни в природі вчені називають *природними явищами* (рис. 1.5).

Щоб краще зрозуміти складні природні явища, учені розглядають їх як сукупність

www.e-ranok.com.ua



Рис. 1.6. Складне природне явище — гроза — являє собою сукупність різних фізичних явищ

фізичних явищ — *явищ, які можна описати за допомогою відповідних фізичних законів.*

Наприклад, грозу можна розглядати як сукупність блискавки (електромагнітне явище), гуркоту грому (звукове явище), руху хмар, падіння крапель дощу (механічні явища) та ін. (рис. 1.6).

Розгляньте приклади деяких фізичних явищ, наведені в таблиці. Що може бути спільного між польотом ракети, падінням каменя, бігом коня, обертанням Землі? Відповідь проста. Усі ці явища є *механічними* й описуються одними законами — *законами механічного руху.*

Наведемо ще приклад. Знімаючи светр або розчісуючи волосся пластмасовим гребінцем, ви, напевно, звертали увагу на крихітні іскорки, які при цьому з'являються. Ці іскорки і потужний розряд блискавки однаково належать до *електромагнітних явищ* (рис. 1.7), а отже, підпорядковуються одним законам. Тому для дослідження електромагнітних явищ не

Фізичні явища	Приклади
Механічні	Політ ракети, падіння каменя, біг коня, обертання Землі навколо Сонця
Звукові	Дзвін, пташиний спів, тупіт коня, гуркіт грому, розмова
Теплові	Замерзання води, танення снігу, нагрівання їжі, згоряння палива в циліндрі двигуна
Електромагнітні	Розряд блискавки, електризація волосся, притягання магнітів
Світлові	Світіння електричної лампочки, сонячні та місячні затемнення, веселка

www.e-ranok.com.ua





Рис. 1.7. Приклади електромагнітних явищ

обов'язково чекати на грозу. Достатньо вивчити, як поводяться 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 (тепловим явищем). Дослідження цих явищ у їхньому взаємозв'язку дало змогу не тільки краще зрозуміти природне явище — грозу, але й знайти шлях для практичного застосування електричного розряду. Прикладом може бути *електрозварювання* — спосіб з'єднання металевих деталей за допомогою електричного розряду (див. рис. 1.7) (кожен, хто проходив повз будівельний майданчик, напевно бачив робітників у захисних масках і сліпучі спалахи). Електрозварювання — це приклад практичного використання наукових досліджень.

4 Визначаємо, що вивчає фізика

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

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

По-перше, *фізика вивчає найбільш загальні закономірності*, які визначають структуру та поведінку найрізноманітніших об'єктів — від гігантських зір до надзвичайно маленьких атомів.

По-друге, *закони фізики є основою будь-якої природничої науки*. Наприклад, в *астрономії* закони фізики пояснюють причини світіння та будову зір, утворення планет, рух космічних об'єктів. У *географії* закони фізики застосовують для пояснення клімату, течій річок, утворення рельєфу. У *хімії* саме фізика пояснює напрямок і швидкість перебігу хімічних реакцій.

5 Доводимо, що фізика є основою техніки

Зіставимо морські подорожі в давнину і сьогодні (рис. 1.8). На відміну від вітрильників минулого, судно XXI ст. має двигун і не залежить

www.e-ranok.com.ua





Рис. 1.8. Наприкінці XV ст. іспанський мореплавець Христофор Колумб плив до берегів сучасної Америки два місяці. Сучасне судно подолало б цю відстань менш ніж за тиждень

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 суднах і в літаках, на теплових електростанціях і в ракетоносіях.

Завдяки відкриттям у галузі електрики ми маємо змогу освітлювати приміщення, користуватися телевізором, телефоном, комп'ютером, праскою, пральною машиною тощо.

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

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



Підбиваємо підсумки

Всесвіт складається з різних видів матерії — речовини та поля. Нещодавно відкриті темна матерія і темна енергія, природу яких достименно не встановлено. Усі фізичні тіла «побудовані» з речовини.

* Про *GPS-навігатор* див. в «Енциклопедичній сторінці» наприкінці даного розділу; *сонар* — пристрій для дослідження морського дна за допомогою ультразвукових хвиль; *радар* — пристрій для виявлення об'єктів за допомогою електромагнітних хвиль.

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 основною 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, звукових. **5.** Що вивчає фізика? **6.** Чому фізика є основною природничою наукою? **7.** Наведіть докази того, що фізика є основою техніки.



Вправа № 1

1. Назвіть речовини, з яких складаються такі тіла: підручник, олівець, футбольний м'яч, склянка, автомобіль.

2. 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

3. Визначте, про яке фізичне явище йдеться в кожному реченні.
Обертається гвинт м'ясорубки. Дріт нагрівся в полум'ї пальника. Навколишній світ ми бачимо різнокольоровим.

4. Поміркуйте, які фізичні явища можна «побачити» в таких природних явищах: виверження вулкана; повінь; сходження снігової лавини; «падіння» зорі.

5. Наведіть приклади застосування фізичних знань у побуті.

6. Закономірності яких фізичних явищ треба знати, щоб створити автомобіль?



7. 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 і проілюструвати його.

* ***Таблиці, подані в підручнику, слід переносити до зошита.*** Кількість стовпчиків у таблиці має бути такою, як наведено в підручнику, а от кількість рядків зазвичай необхідно збільшити.

www.e-ranok.com.ua

§ 2. БУДОВА РЕЧОВИНИ. МОЛЕКУЛИ. АТОМИ

На уроках природознавства у 5 класі ви дізналися, що всі речовини складаються з дрібних частинок — молекул, атомів. Ви також знаєте, що атомам надані спеціальні назви та символи для позначення, наприклад: Гідроген (H), Оксиген (O), Карбон (C), Сульфур (S).

Зараз науці відомі 118 різних видів атомів і при цьому — мільйони різних молекул. Як же пояснити такі розбіжності в цифрах? З'ясуємо.

1 Розрізняємо атом і молекулу

Кожна речовина складається з певних молекул і тільки з них. Так, речовина метанол складається з молекул метанолу, а речовина мурашина кислота складається з молекул мурашиної кислоти.

Перш ніж почати вивчення будови молекули, згадаємо українську абетку. Вона має лише 33 букви, проте кожен із вас може скласти з них тисячі слів. Проведіть аналогію: буква — атом, слово — молекула. Кожне слово — це певна комбінація букв. Так само *кожна молекула — це певна комбінація атомів*.

Використовуючи цю аналогію, розглянемо схематичне зображення двох різних молекул — молекули мурашиної кислоти і молекули метанолу (рис. 2.1, *а, б*).

Бачимо, що ці молекули містять однакові види атомів, проте очевидно, що молекули є різними: молекула мурашиної кислоти складається з 5 атомів (і є аналогом слова, яке складається з 5 букв), а молекула метанолу складається з 6 атомів (і є аналогом іншого слова, яке складається з 6 букв). Отже, *кожна нова комбінація навіть тих самих видів атомів відповідає новій молекулі*. Кількість атомів, що складають різні молекули, може бути й однаковою, — так само як існує безліч слів, що мають однакову кількість букв.

Таким чином, *із 118 видів атомів можна скласти мільйони різноманітних молекул і, відповідно, отримати мільйони різноманітних речовин*.

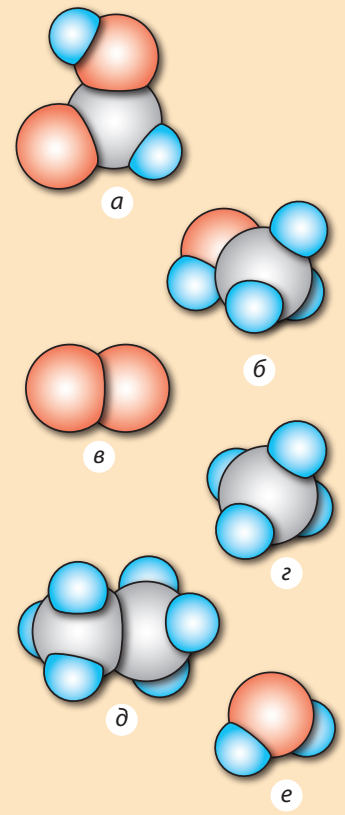


Рис. 2.1. Схематичне зображення молекул деяких речовин: *а* — мурашиної кислоти (HCOOH); *б* — метанолу (CH_3OH); *в* — кисню (O_2); *г* — метану (CH_4); *д* — етану (C_2H_6); *е* — води (H_2O). Сині кульки — моделі атомів Гідрогену, сірі — Карбону, червоні — Оксигену

www.e-ranok.com.ua

Розгляньте рис. 2.1. Скільки видів атомів містить кожна молекула? Яка кількість атомів у кожній молекулі? Чи може молекула складатися з однакових атомів? Чи може в різних молекулах бути однаковою кількість атомів? Проведіть аналогії з абеткою.

2 Намагаємося 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 0001 м, або $1 \cdot 10^{-10}$ м. Щоб уявити, наскільки малим є це значення, наведемо приклади.

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

Приклад 2. Головка сталевої шпильки, радіус якої 1 мм, містить 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 XX ст. вчені створили прилади, які дозволяють не тільки бачити окремі атоми, а навіть переміщати їх з місця на місце.

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 приєдналися один або кілька електронів, то атом перетворюється на *негативний йон*.

---

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

** Докладніше про фізичні моделі ви дізнаєтесь у § 3.

www.e-ranok.com.ua

4 Переконуємось у 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 існують проміжки* і в ході змішування рідин молекули води потрапляють у проміжки між молекулами спирту. Цей дослід добре моделюється за допомогою пшона та гороху (рис. 2.3).

5 Знайомимося з тепловим рухом

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

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

Проведемо дослід. У прозору посудину з водою наллємо водний розчин мідного купоросу 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 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.

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

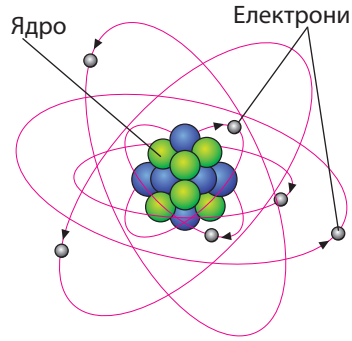


Рис. 2.2. Планетарна модель атома. Насправді відстань від ядра до електронів перевищує розмір ядра в 100 000 разів



Рис. 2.3. Об'єм суміші гороху та пшона менший, ніж сума об'ємів компонентів цієї суміші: крупинки пшона потрапили в проміжки між горошинами



Рис. 2.4. За допомогою лійки можна акуратно налити розчин мідного купоросу на дно склянки з водою

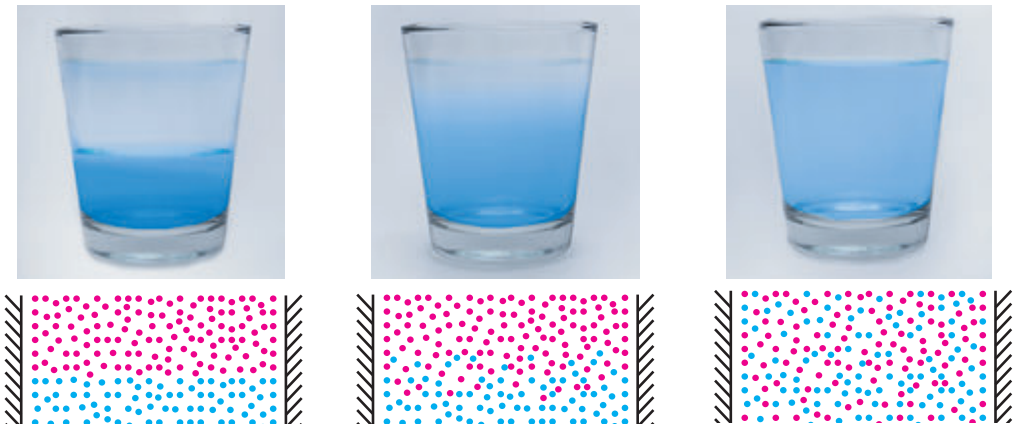


Рис. 2.5. Процес дифузії та його схематичне зображення: молекули на межі розподілу речовин міняються місцями, і в результаті з часом речовини повністю перемішуються

6 Підтверджуємо взаємодію молекул

Ми з'ясували, що молекули перебувають у безперервному хаотичному русі. Чому ж вони 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 в притяганні між молекулами. Саме завдяки *міжмолекулярному притяганню* тверді тіла зберігають свою форму, рідина збирається в краплини (рис. 2.6), клей прилипає до паперу, розтягнута пружина набуває вихідної форми.

Якщо між молекулами є притягання, то чому розбита чашка не стає цілою після того, як її уламки притиснуть один до одного? Пояснити це можна тим, 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 через нерівність поверхні на зазначені відстані зближується незначна кількість молекул. А відстань між більшою їх частиною залишається такою, що молекули майже не взаємодіють.



Рис. 2.6. Провислу краплю води деякий час утримують від падіння сили притягання між молекулами

www.e-ranok.com.ua

Спробуйте стиснути, наприклад, закриту пластикову пляшку, доверху заповнену водою, або монетку — ви відчуєте, що зробити це без додаткових засобів неможливо. 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 стискати рідину або тверде тіло, то відстань між молекулами зменшиться й міжмолекулярне відштовхування стане сильнішим, ніж притягання.

7 Формулюємо основні положення молекулярно-кінетичної 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 атомами — у перекладі з грецької це слово означає «неподільний»). А от підтвердження існування так званих атомів і молекул було отримано тільки в XIX ст. Саме тоді з'явилася й була дослідно обґрунтована **молекулярно-кінетична теорія**, яка розглядає 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 є дифузія. Дифузія — процес самовільного перемішування дотичних речовин, який відбувається внаслідок теплового руху їх молекул.

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



Контрольні запитання

1. Скільки видів атомів відомо 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 означення дифузії. **7.** Наведіть приклади дифузії. **8.** Чому тверді тіла та рідини не розпадаються на окремі частинки? **9.** За якої умови взаємодія між молекулами стає помітною?



Вправа № 2

1. Чи можемо ми змінити об'єм тіла, не змінюючи кількості молекул у ньому? Якщо так, то як це зробити?
2. Чому для того, щоб розірвати нитку, потрібно докласти зусиль?
3. Чи можна 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.
4. Подайте у стандартному вигляді числа: 10 000 000; 5000; 2500; 400.
5. Обчисліть, скільки приблизно молекул можна розмістити вздовж відрізка завдовжки 0,5 мм. Вважайте, що діаметр молекули дорівнює 0,000 000 0001 м.
6. Площа плівки, утвореної на поверхні води краплею олії об'ємом 0,005 мм^3, не може бути більшою за 50 см^2. Який висновок щодо розміру молекул олії випливає з цього факту?



7. 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?



Експериментальні завдання

1. Візьміть дві неглибокі тарілки. В одну налийте тонким шаром холодну воду, в другу — гарячу. За допомогою піпетки помістіть у центр кожної тарілки кілька крапель міцно завареного чаю. Поясніть результат.
2. 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 (фотографіями).



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

§ 3. НАУКОВІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ПРИРОДИ. ВНЕСОК УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ У РОЗВИТОК ФІЗИКИ

Кожен із 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 холодить долоню. А як проводять наукові дослідження вчені? Як вони одержують нові знання?

www.e-ranok.com.ua

1 Дізнаємося, що таке фізичне дослідження, 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. За результатами цих 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 однаковими.

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

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*. Через декілька уроків ви виконуватимете *лабораторну роботу* — це найпростіший вид експериментального дослідження.

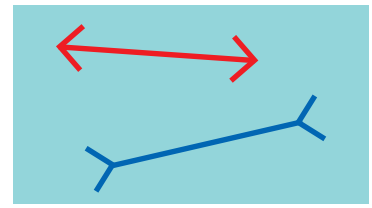


Рис. 3.1. Довжина відрізків є однаковою. У цьому легко переконатися за допомогою лінійки

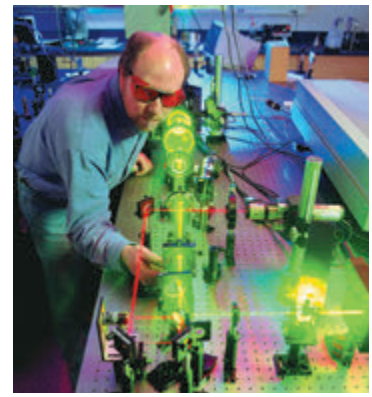


Рис. 3.2. Учені проводять експерименти (досліди) у спеціально обладнаних приміщеннях — фізичних лабораторіях

2 Визначаємо основні етапи фізичного дослідження

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

* Насправді в річках та озерах на лід перетворюється лише поверхневий шар води.

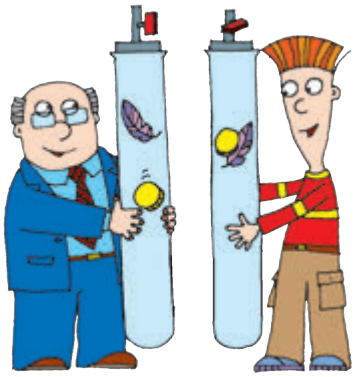
www.e-ranok.com.ua



Рис. 3.3. Ґалілео Ґалілей (1564–1642)



Рис. 3.4. Ісаак Ньютон (1642–1727)



а *б*

Рис. 3.5. Експерименти з так званою трубкою Ньютона: у скляну трубку помістили монету і пташине перо. Тіла почали падіння одночасно. Через опір повітря перо «відстало» (*а*). Із трубки викачали повітря — тіла досягли дна трубки одночасно (*б*)

Далі дослідник **проводить експеримент**, за допомогою якого перевіряє гіпотезу. Експеримент має проводитися в умовах, які перебувають під контролем дослідника.

Який експеримент ви можете здійснити, щоб перевірити гіпотезу про перетворення води на лід?

Завдяки гіпотезі та її експериментальній перевірці дослідник отримує **нове знання.** А результат вашого експерименту напевно буде таким: за температури, нижчої від 0 °С, вода *завжди* перетворюється на лід*.

Проведення деяких експериментів не потребує багато часу, але інколи пошуки істини тривають століттями. Наведемо приклад.

Із повсякденного досвіду філософи Стародавньої Греції зробили висновок, що важчі предмети завжди падають на землю швидше, ніж легкі. І тільки через майже дві тисячі років італійський учений *Ґалілео Ґалілей* (рис. 3.3) висунув гіпотезу про те, що швидкість падіння тіл не залежить від їх маси, а повільніше падіння легкого тіла пояснюється опором повітря.

За легендою, для підтвердження своєї здогадки учений провів дослідження, використавши для цього відому Пізанську вежу. З вершини 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 здійснив видатний англійський учений *Ісаак Ньютон* (рис. 3.4, 3.5). Проте Ньютон не обмежився підтвердженням висновків Ґалілея.

* Цей висновок справджується для води за нормального атмосферного тиску, оскільки передбачається, що експеримент проведений саме за цих умов. Детальніше про атмосферний тиск ви дізнаєтесь у § 25 цього підручника, а про особливості поведінки води за тиску, який значно відрізняється від нормального атмосферного, — в ході вивчення курсу фізики 8 класу.

www.e-ranok.com.ua

Проаналізувавши одержані дані та зробивши необхідні обчислення, тобто провівши **теоретичні дослідження**, І. Ньютон припустив, що падіння тіл на поверхню землі та обертання планет Сонячної системи навколо Сонця підкоряються одному закону. Щоб обґрунтувати це твердження, вчений знову звернувся до математики. У результаті Ньютон відкрив *закон всесвітнього тяжіння* — створив **нове знання**.



Рис. 3.6. Етапи пізнання у фізичних дослідженнях

З часів Ґалілея і Ньютона основними методами здобуття нових знань стали *експериментальний* і *теоретичний*. Сучасні експериментальні дослідження неможливо уявити без спеціально сконструйованих складних приладів. У розробленні нових теорій беруть участь сотні вчених, для теоретичних розрахунків застосовують надпотужні комп'ютери.

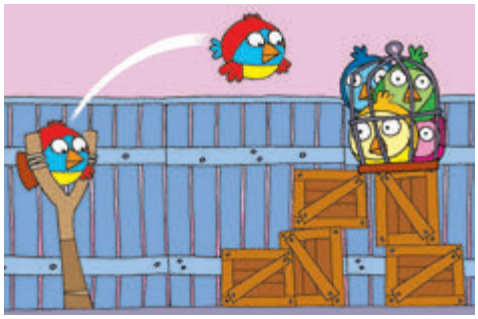
Однак і в наші дні основні етапи отримання нових знань (знання — спостереження, роздуми — теоретичне дослідження, гіпотеза — експеримент — нове знання) залишаються незмінними. Послідовність етапів пізнання у фізичних дослідженнях можна уявити у вигляді спіралі, яка складається з елементів, які повторюються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

3 З'ясовуємо, навіщо створюють фізичні моделі

Будь-який фізичний процес є доволі складним і супроводжується численними явищами. Зрозуміло, що одночасно дослідити всі явища, які відбуваються в ході процесу, і врахувати вплив абсолютно всіх чинників неможливо. Саме тому на початку фізичного дослідження слід визначити чинники, які суттєво впливають на процес. Далі вчені створюють **фізичну модель** процесу — його уявний аналог, у якому «діють» тільки ці чинники. Які саме чинники слід урахувати, а якими нехтувати, визначається метою дослідження.

Ті з вас, хто грав у комп'ютерну гру «Angry Birds», вже мали справу з найпростішою фізичною моделлю руху тіла, кинутого під кутом до горизонту (рис. 3.7). Загальні закономірності, що «працюють» у цій моделі, будуть виконуватися й у випадку, наприклад, гарматного пострілу, але з деякими поправками — на швидкість вітру, на якість заряду, на зношення дула гармати тощо. А от якщо необхідно розрахувати рух космічної ракети, то уточнень має бути ще більше: слід урахувати зменшення маси ракети під час польоту через згоряння палива, зміну температури зовнішнього середовища, поступове розрідження повітря та ін. Недарма модель руху ракети створюють великі колективи вчених, використовуючи найпотужніші комп'ютери.

www.e-ranok.com.ua



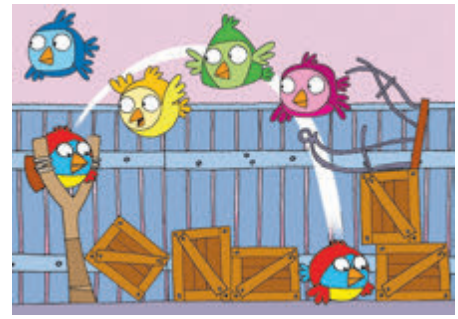


Рис. 3.7. У комп'ютерній грі «Angry Birds» використана найпростіша модель руху тіла, кинутого під кутом до горизонту

4 Дізнаємося про українських фізиків

У «спорудження будівлі» сучасної фізики вчені, чия творчість пов'язана з Україною, теж зробили свій внесок. Серед них *Іван Павлович Пулюй* (рис. 3.8) — один із перших українських учених, який здобув світове визнання своїми дослідженнями в різних галузях експериментальної фізики та електротехніки. У плеяді найяскравіших імен також перший президент Академії наук України *Володимир Іванович Вернадський* (1863–1945), *Олександр Теодорович Смакула* (1900–1983), *Лев Васильович Шубников* (рис. 3.9), *Лев Давидович Ландау* (1908–1968), *Микола Миколайович Боголюбов* (1909–1992). В Україні народився й працював дослідник радіоактивності та земного магнетизму *Микола Дмитрович Пильчиков* (рис. 3.10), якого можна віднести до числа перших ядерників-експериментаторів.

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

Досягнення українських учених добре відомі за межами нашої країни. Матеріали та технології, створювані в київському Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона, застосовують на всіх континентах. Синтетичні кристали, які виробляють в Інституті монокристалів (Харків) і на

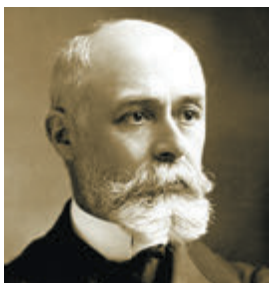


Рис. 3.8. І. П. Пулюй (1845–1918)



Рис. 3.9. Л. В. Шубников (1901–1945)



Рис. 3.10. М. Д. Пильчиков (1857–1908)

www.e-ranok.com.ua

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 світових центрів ядерної фізики є Харківський фізико-технічний інститут Національної академії наук (НАН) України. На Державному підприємстві «Антонов» розроблено понад 100 типів і модифікацій літаків різного класу. У Дніпропетровську, в конструкторському бюро «Південне» і на заводі «Південмаш», створено один із найпотужніших ракетних комплексів.



Підбиваємо підсумки

Основні методи здобуття нових знань — експериментальний і теоретичний. На певному етапі вчені мають деякі знання; внаслідок 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.

Перед тим як проводити теоретичні дослідження певного фізичного процесу, фізики створюють його ідеалізований аналог — фізичну модель.



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 експериментально підтвердив гіпотезу Ґ. Ґалілея про те, що повільніше падіння більш легкого тіла пояснюється опором повітря? **5.** Назвіть основні методи отримання нових знань у фізичних дослідженнях. Наведіть приклади. **6.** Назвіть етапи фізичного дослідження.



Вправа № 3

1. На Місяці, де відсутнє повітря, астронавт Девід Скотт узяв до рук, а потім одночасно відпустив молоток і пташине перо. Дослід якого вченого повторив астронавт? Який результат він отримав?

2. Який круг із поданих на рисунку 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 понять належать подані твердження:
а) за відсутності опору 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

www.e-ranok.com.ua

буде тяга двигуна, його випробували на спеціальному стенді. У якому випадку вчені виконали експериментальне дослідження, а в якому — теоретичне? Відповідь обґрунтуйте.



5. Назвіть щонайменше шість вимірювальних приладів, якими ви користувалися на уроках математики, природознавства та в повсякденному житті. Що ви вимірювали за допомогою кожного з цих приладів? У яких одиницях отримували результати?



Експериментальні завдання

1. Поспостерігайте яке-небудь фізичне явище та опишіть його за планом, поданим на форзаці підручника (використовуйте тільки пункти 1, 2, 4).

2. Візьміть кілька однакових аркушів паперу та надайте їм, окрім одного, різної форми (складіть, 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 найвидатніших природознавців, ученим, який не лише розвивав відомі наукові напрями, а й став фундатором кількох нових наук.

Сьогодні багато відомих міжнародних організацій у своїх прогнозах розвитку людства базуються на концепції безперервного розвитку суспільства, яка є продовженням вчення В. І. Вернадського про ноосферу (сферу взаємодії суспільства й природи). Суть цієї концепції полягає в тому, щоб від покоління до покоління не знижувались 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 опрацювати цей параграф!

www.e-ranok.com.ua

1 Визначаємо поняття «фізична величина»

Люди здавна для опису яких-небудь явищ або властивостей тіл використовують їхні характеристики. Наприклад, коли ми говоримо, що тенісна кулька менша за повітряну кулю, то маємо на увазі, що *об'єм* тенісної кульки менший від об'єму повітряної кулі. 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*).

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

Зрозуміло, 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.

Яку фізичну величину вимірює людина в разі застуди?

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 Жуля Верна «П'ятнадцятирічний капітан» є такий епізод: «Пройшовши кроків триста берегом річки, маленький загін ступив під 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 в яких одиницях була виміряна величина. Неважко встановити, що йдеться про фізичну величину *шлях*, *числове значення* якої становить *триста*, а *одиницею шляху* слугує *один крок*.

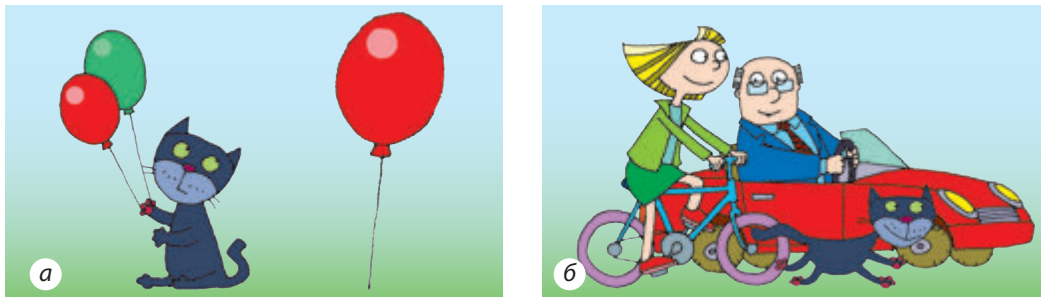


Рис. 4.1. Для характеристики властивості тіл займати ту чи іншу частину простору використовують фізичну величину об'єм (*а*); для характеристики руху тіл — швидкість руху (*б*)

www.e-ranok.com.ua

Очевидно, що вибір кроку за одиницю шляху не може бути вдалим, адже довжина кроку в усіх є різною (рис. 4.2). Таким чином, зрозуміло, чому люди здавна почали домовлятися про те, щоб вимірювати одну й 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).

У СІ одиницею довжини є метр (м), одиницею часу — секунда (с), об'єм вимірюється в метрах кубічних ($м^3$), швидкість руху — у метрах за 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 $\upsilon = 5$ м/с означає, що швидкість руху якогось тіла становить 5 метрів за секунду.

3 З'ясовуємо, чим кратні одиниці відрізняються від частинних

Для зручного 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 відповідні префікси. Наприклад, **кіло**метр (1000 м) — кратна одиниця довжини; **санти**метр (0,01 м) — частинна одиниця довжини.

У таблиці, поданій на с. 27, наведено найуживаніші префікси.



Рис. 4.2. Якщо бабуся й онук вимірюватимуть відстань у кроках, то, зрозуміло, вони отримають різні результати



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

www.e-ranok.com.ua

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	д	0,1	10^{-1}
санти-	сто	с	0,01	10^{-2}
мілі-	тисяча	м	0,001	10^{-3}
мікро-	малий	мк	0,000 001	10^{-6}
нано-	карлик	н	0,000 000 001	10^{-9}

4 Визначаємо, чим відрізняються прямі і непрямі вимірювання

Значення фізичних величин одержують шляхом *вимірювань*.

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

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

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

У разі *прямого вимірювання* шукане значення фізичної величини отримують відразу (рис. 4.4, 4.5).



Рис. 4.4. «У мене знову підвищився тиск»,— скаржиться жінка після вимірювання кров'яного тиску



Рис. 4.5. До відправлення потяга залишилося 2 хвилини — цей інтервал часу ви з хвилюванням визначаєте за допомогою годинника

У разі *непрямого вимірювання* шукане значення фізичної величини визначають за певною формулою, підставивши в цю формулу значення інших фізичних величин, отриманих в ході прямих вимірювань. Так, щоб визначити площу S прямокутника, спочатку за допомогою лінійки вимірюють довжину l і ширину d прямокутника (прямі вимірювання), а потім обчислюють його площу за формулою $S = l \cdot d$.

Непрямі вимірювання яких величин ви виконували на уроках математики?

5 Знайомимося з вимірювальними приладами

Для *встановлення значень* фізичних величин у ході прямих вимірювань використовують *вимірювальні прилади* (рис. 4.6).

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

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

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

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



а *б*

Рис. 4.6. Вимірювальні прилади: *а* — зі шкалою; *б* — електронні цифрові

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

www.e-ranok.com.ua



Рис. 4.7. Медичний термометр

Визначимо ціну поділки шкали медичного термометра (рис. 4.7):

1) оберемо два значення температури, які наведені на шкалі, наприклад 40 °С і 39 °С, і знайдемо їхню різницю: $40\ °C - 39\ °C = 1\ °C$;

2) визначимо кількість поділок між рисками, поряд з якими вказані ці значення, — 10 поділок;

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

Отже, ціна поділки шкали цього термометра становить 0,1°С:

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

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

Так, верхня межа вимірювань медичного термометра на рис. 4.7 дорівнює 42 °С, нижня становить 34,1 °С.

Підбиваємо підсумки

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

У результаті прямих вимірювань за допомогою вимірювальних приладів одержують значення фізичних величин. Записуючи значення фізичної величини, треба навести символ, яким вона позначається, числове значення фізичної величини та її одиницю. Для зручності записування великих і малих значень фізичних величин застосовують кратні та частинні одиниці, для запису яких використовують спеціальні префікси.

Ціна поділки шкали вимірювального приладу — це значення найменшої поділки шкали цього приладу. Межі вимірювання приладу — це найбільше та найменше значення фізичної величини, які можна виміряти цим приладом.

Контрольні запитання

1. Дайте означення фізичної величини. **2.** Наведіть приклади фізичних величин. Які властивості тіл або які ознаки фізичних явищ вони характеризують? **3.** Якими символами позначають: об'єм; швидкість руху; час руху тіла? **4.** Що означає виміряти фізичну величину? **5.** Наведіть приклади префіксів, які використовують для утворення частинних одиниць; кратних одиниць. **6.** Наведіть приклади вимірювальних приладів. **7.** Які характеристики приладу можна визначити за допомогою його шкали? **8.** Що таке ціна поділки шкали приладу?

www.e-ranok.com.ua

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 зображено на рис. 1–3. Наведіть символи для позначення цих величин; їх одиниці в СІ.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

3. Визначте межі вимірювання; ціну поділки шкали шприца на рис. 4.



Рис. 4

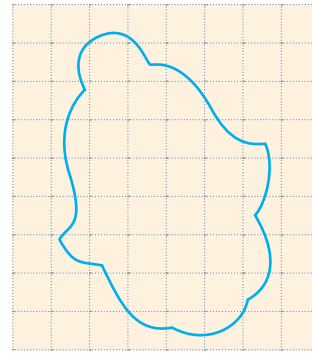
4. Запишіть за допомогою кратних або частинних одиниць такі значення: 0,000 007 5 м — діаметр червоних кров'яних тілець; 5 900 000 000 000 м — радіус орбіти планети-карлика Плутон; 6 400 000 м — радіус планети Земля.
5. Баскетбольний майданчик, на якому проводять офіційні змагання, повинен мати довжину 28 м і ширину 15 м. Визначте площу баскетбольного майданчика. Відповідь подайте також у $дм^2$ і $см^2$.
6. Згадайте означення фізичної величини та доведіть, що довжина — це фізична величина.
7. Скористайтесь додатковими джерелами інформації та підготуйте повідомлення про вимірювальні прилади, з якими ви маєте справу у повсякденному житті.

Експериментальні завдання

1. Знайдіть у себе вдома 2–3 вимірювальні прилади, що мають шкалу. Визначте межі вимірювання та ціну поділки шкали кожного приладу.

www.e-ranok.com.ua

2. Скориставшись наведеною нижче інформацією, визначте площу вашої долоні.



Площу фігури, яка має неправильну геометричну форму, можна визначити за контуром цієї фігури, намальованим на папері в клітинку, або за допомогою палетки (прозорої пластинки з нанесеною на ній сіткою квадратів певної площі). У такому випадку площу S фігури обчислюють за формулою:

$$S = \left(n + \frac{1}{2}k\right) S_0,$$

де n — кількість цілих квадратів, k — кількість нецілих квадратів, S_0 — площа одного квадрата. Наприклад, площа фігури на рисунку дорівнює:

$$S = \left(20 + \frac{1}{2} \cdot 22\right) \cdot 25 \text{ мм}^2 = 775 \text{ мм}^2.$$

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 установа України. Академію заснував у 1918 р. уряд гетьмана П. П. Скоропадського. Першим президентом Української академії наук (тогочасна назва НАНУ) був видатний український учений *Володимир Іванович Вернадський*.

НАНУ займається дослідженнями в галузях природничих, гуманітарних, суспільних і технічних наук. Найбільші досягнення Академії: здійснення штучної ядерної реакції; створення прискорювача заряджених частинок; нового типу радіолокатора; впровадження технології автоматичного зварювання; створення нових лікарських препаратів і методів лікування; розробка першої в континентальній Європі електронної обчислювальної машини (ЕОМ).

У різний час в НАНУ працювали багато видатних учених, сформувалося чимало наукових шкіл. Так, в усьому світі відомі українські школи електрозварювання Є. О. Патона та Б. Є. Патона, кібернетики С. О. Лебедєва та В. М. Глушкова, теоретичної фізики Л. Д. Ландау, нелінійної механіки та статистичної фізики М. М. Боголюбова тощо.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Визначення ціни поділки шкали вимірювального приладу.

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

Обладнання: лінійка; термометр та інші вимірювальні прилади.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

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) Як визначити ціну поділки шкали приладу?
4) Яких правил безпеки слід дотримуватися, працюючи з термометром?

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

1. Розгляньте шкали наявних у вас вимірювальних приладів.
2. Заповніть перші п'ять стовпчиків таблиці.

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

Опрацювання результатів експерименту

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

Аналіз експерименту та його результатів

Сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) що саме ви визначали; 2) які результати одержали; 3) для чого можуть знадобитися навички, набуті в ході виконання роботи.

+ Творче завдання

Виготовте мірну стрічку із ціною поділки шкали 5 мм.

www.e-ranok.com.ua

§ 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. Виміряємо, наприклад, 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 приблизно на 2 міліметри, отже, точніша довжина олівця — 12,2 см, або 122 мм.

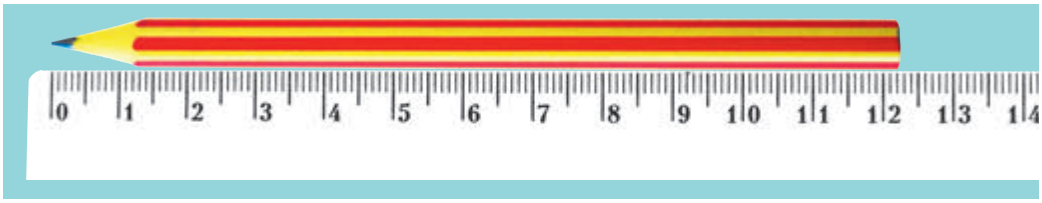


Рис. 5.1. Вимірювання довжини олівця лінійкою

2 Міркуємо про точність вимірювань

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

А от якщо потрібен більш точний результат, треба використати вимірювальні прилади, які мають меншу ціну поділки шкали — 0,5 мм або навіть 0,1 мм. Але й тоді ми не виміряємо довжину олівця 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.

Отже, вимірювання завжди здійснюються з *похибкою*. Щоб зменшити похибку, ті самі вимірювання виконують кілька разів, а потім

обчислюють середнє значення результатів вимірювання (визначають їх середнє арифметичне).

3 Визначаємо абсолютну та відносну похибки результату вимірювання

Похибки поділяють на *абсолютні* та *відносні*.

Абсолютна похибка результату вимірювання — це відхилення результату вимірювання від істинного значення фізичної величини.

Абсолютна похибка результату вимірювання показує, на скільки найбільше може помилитися дослідник, правильно вимірюючи фізичну величину.

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

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

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

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

2. Довжина l_0 олівця, виміряна лінійкою, дорівнює 122 мм ($l_0 = 122$ мм).

3. Результат вимірювання в цьому випадку слід записати так: $l = (122 \pm 1)$ 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).

Виміряємо тепер товщину d олівця (рис. 5.3). Маємо результат: $d_0 = 7$ мм. Це майже у 18 разів менше від довжини олівця. При цьому абсолютна похибка та сама — 1 мм ($\Delta d = 1$ мм). Однак це не означає, що довжину і товщину олівця ми виміряли з однаковою точністю.

Наскільки точно проведено вимірювання, наочніше показує *відносна похибка*.

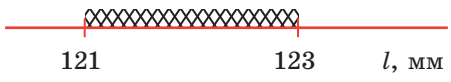


Рис. 5.2. Абсолютна похибка вимірювання визначає інтервал, у якому міститься істинне значення вимірюваної величини

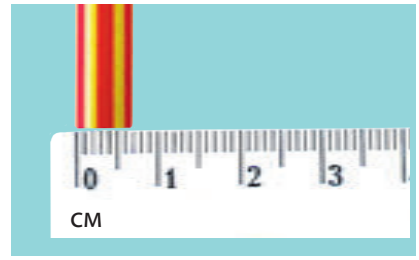


Рис. 5.3. Вимірювання товщини олівця

www.e-ranok.com.ua

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

Відносну похибку позначають символом ε (епсилон) і найчастіше подають у відсотках.

Знайдемо відносні похибки результатів вимірювання:

довжини олівця: $\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\,\% = \frac{1\text{ мм}}{122\text{ мм}} \cdot 100\,\% \approx 0{,}8\,\%$;

товщини олівця: $\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot 100\,\% = \frac{1\text{ мм}}{7\text{ мм}} \cdot 100\,\% \approx 14{,}3\,\%$.

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, майже у 18 разів.

4 Міркуємо про необхідну точність вимірювання

Припустимо, що замість довжини олівця нам треба виміряти довжину кімнати. Зрозуміло, що в цьому випадку немає необхідності враховувати міліметри (рис. 5.4).

Так само, якщо кравець, викроюючи сорочку, 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 сорочку взагалі колинебудь буде виготовлено.

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



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. Щоб зменшити похибку, ті самі вимірювання виконують кілька разів, а потім обчислюють середнє значення результатів 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 необхідної і надлишкової точності вимірювань.

Вправа № 5

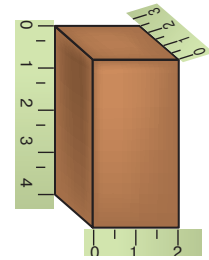
1. Діаметр кола виміряли лінійкою з ціною поділки шкали 0,1 см і рулеткою з ціною поділки шкали 0,5 см. У якому випадку отримали точніший результат?

2. За допомогою лінійки (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. Під час спокійних вдиху та видиху через легені дорослої людини проходить приблизно 0,5 дм^3 повітря. Скільки разів людині потрібно вдихнути та видихнути, щоб через її легені пройшло повітря, об'єм якого дорівнює 5500 см^3? (Приблизно стільки становить об'єм футбольного м'яча.)

4. «Улюблене» число математиків — число «пі». Нагадаємо, що це число дорівнює відношенню довжини кола до його діаметра і подається нескінченним дробом. Наведемо значення числа «пі» з точністю до дев'ятого знака після коми: $\pi = 3{,}141\,592\,653$. 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 відстань між сусідніми лініями.

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

Який результат вимірювання, на ваш погляд, є точнішим?

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.

www.e-ranok.com.ua

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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

Мета: виміряти об'єми твердих тіл (правильної і неправильної форм), рідини та сипких матеріалів.

Обладнання: мірна посудина; лінійка; три пластикові стаканчики: з водою, пшоном, 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 певну частину простору. Одиницею об'єму в Міжнародній системі одиниць (СІ) є кубічний метр ($м^3$). Існують кратні та частинні одиниці об'єму: $1\ дм^3 = 0{,}1\ м \cdot 0{,}1\ м \cdot 0{,}1\ м = 0{,}001\ м^3$; $1\ см^3 = 0{,}001\ дм^3 = 0{,}000\,001\ м^3$. Позасистемною одиницею об'єму є літр (л): $1\ л = 1\ дм^3$.

2. Об'єми твердих тіл, рідин і сипких матеріалів можна визначити шляхом прямих вимірювань за допомогою мірної посудини (див., наприклад, рис. 1).



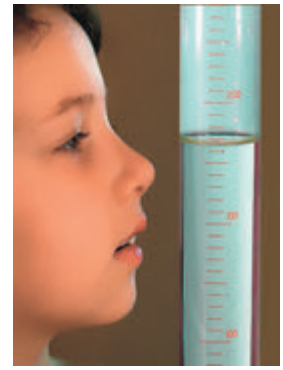
Рис. 1

Для вимірювання об'єму рідини або сипкого матеріалу за допомогою мірної посудини 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.


Рис. 2

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 в неї досліджуване тіло й вода не перелилась би через край посудини;

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 після і до занурення тіла: $V = V_2 - V_1$.

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

* Цей метод вимірювання об'єму твердих тіл запропонував Архімед у III ст. до н. е.

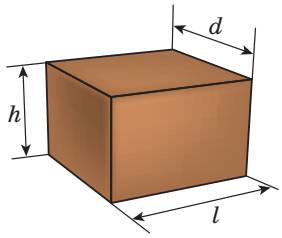


Рис. 3

3. Якщо тіло має правильну геометричну форму, 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 V тіла, що має форму прямокутного паралелепіпеда (рис. 3), обчислюють за формулою: $V = ldh$, де l — довжина; d — ширина; h — висота тіла.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перед тим як розпочати вимірювання:
а) уважно прочитайте теоретичні відомості, подані вище;
б) згадайте, як визначити ціну поділки шкали приладу.

2. Визначте та запишіть:
а) ціну поділки шкали лінійки;
б) ціну поділки шкали мірної посудини.

3. На кожному твердому тілі закріпіть нитку.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).
Результати вимірювань відразу заносьте до таблиць 1 і 2.

Таблиця 1

Номер досліду	Матеріал	Об'єм рідини або сипкого матеріалу $V_{вим}$, см^3
1	Пісок	
2	Пшоно	
3	Вода	

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 тіла l, см	Ширина тіла d, см	Висота тіла h, см	Об'єм тіла $V=ldh$, см^3
Тіло 1				—	—	—	—
Тіло 2							

www.e-ranok.com.ua

1. Виміряйте об'єми сипких матеріалів за допомогою мірної посудини.
2. Виміряйте об'єм рідини за допомогою мірної посудини.
3. Виміряйте об'єм твердого тіла неправильної геометричної форми (тіло 1) шляхом прямих вимірювань (за допомогою мірної посудини).
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.

Аналіз експерименту та його результатів

1. Проаналізуйте різні способи 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: 1) що саме ви навчилися вимірювати; 2) для чого можуть бути потрібні навички, набуті в ході виконання роботи.

Творче завдання

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

1) тіло не вміщується в наявну мірну посудину;

2) ви маєте кілька однакових тіл і об'єм кожного тіла є меншим, ніж ціна поділки шкали наявної мірної посудини.

Завдання «із зірочкою»

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема. Вимірювання розмірів малих тіл.

Мета: визначити методом рядів діаметр горошини, діаметр пшоняного зернятка, товщину нитки.

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 порівняння з розміром, який необхідно виміряти. Зазначимо, що метод рядів дозволяє визначити лише середнє значення розміру малого тіла.

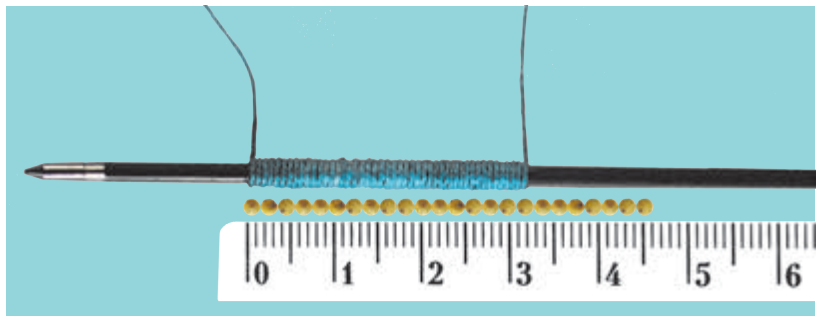
Для визначення розміру d малого тіла методом рядів необхідно:

— 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;

— визначити кількість n тіл або витків у ряді;

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



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

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

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці. Результати вимірювань діаметрів і товщини округліть до десятих. Для вирівнювання рядів скористайтеся зубочисткою.

1. Визначте методом рядів середнє значення: діаметра горошини; діаметра пшоняного зернятка.
2. Визначте методом рядів середню товщину нитки.

www.e-ranok.com.ua

Номер досліду	Тіло	Довжина l ряду, мм	Кількість n тіл (витків) у ряді	Діаметр (товщина) $d_{вим}$, мм
1	Горошина			
2	Пшоняне зернятко			
3	Нитка			

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) чого ви навчилися в ході виконання роботи; 2) які результати отримали; 3) як можна підвищити точність експерименту; 4) для чого можуть бути потрібні навички, набуті в ході виконання роботи.

+ Творче завдання

Запропонуйте свій спосіб вимірювання діаметра горошини. Виконайте відповідний рисунок. Зробіть вимірювання. 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.

i Фізика і техніка в Україні



Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА) — один із відомих сучасних університетів України. Цей навчальний заклад вважається одним із найстаріших у Європі (у 2015 р. Києво-Могилянська академія відзначила свій 400-літній ювілей).

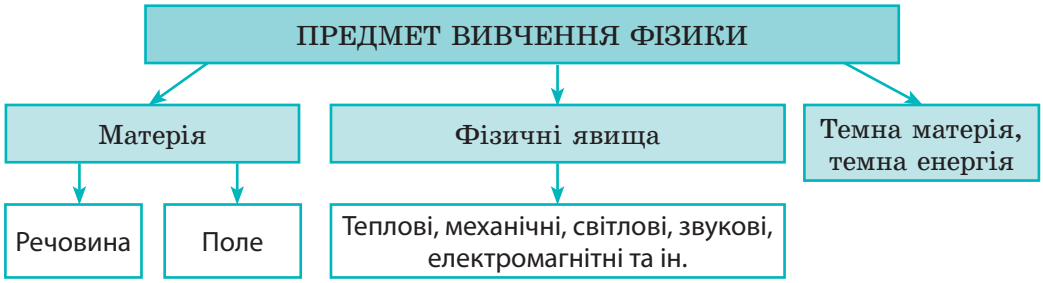
За свою вікову історію Києво-Могилянська академія та її випускники грали визначальну роль в історичному розвитку України.

Академія була центром духовного та культурного життя. Декілька поколінь художників, архітекторів, музикантів і науковців були її вихованцями.

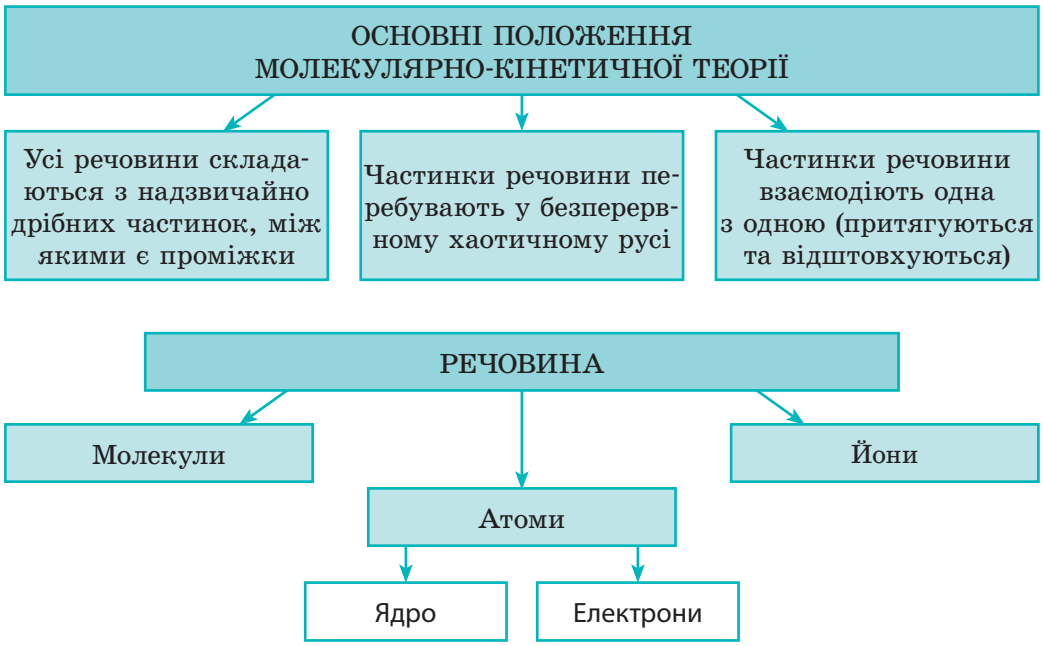
Серед них — мислитель, засновник української класичної філософії Григорій Савич Сковорода (1722–1794), архітектор Іван Григорович Григоро́вич-Барський (1713–1791), композитор Артем Лук'янович Ведель (1767–1808), поет Петро Петрович Гулак-Артемовський (1790–1865). Серед гетьманів України було 14 вихованців академії.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1 «Фізика як природнича наука. Пізнання природи»

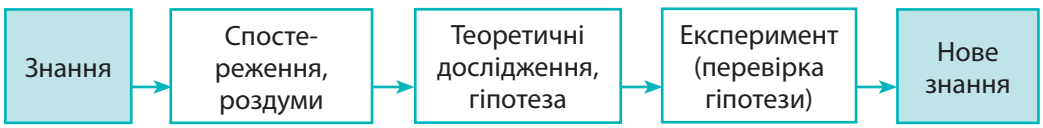
1. У розділі 1 ви дізналися, що фізика є *основною природничою наукою*, та одержали відповідь на питання *«Що вивчає фізика?»*.



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

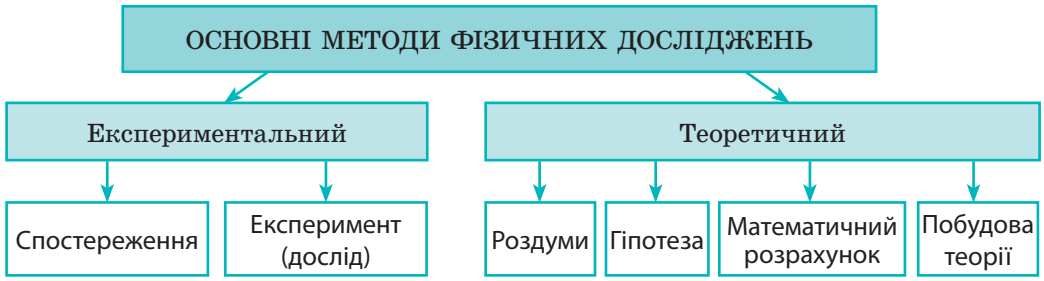


3. Ви простежили *послідовність етапів фізичних досліджень:*

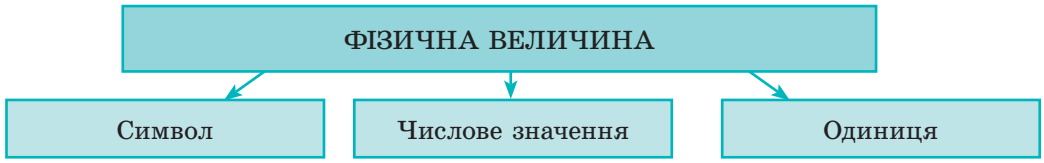


www.e-ranok.com.ua

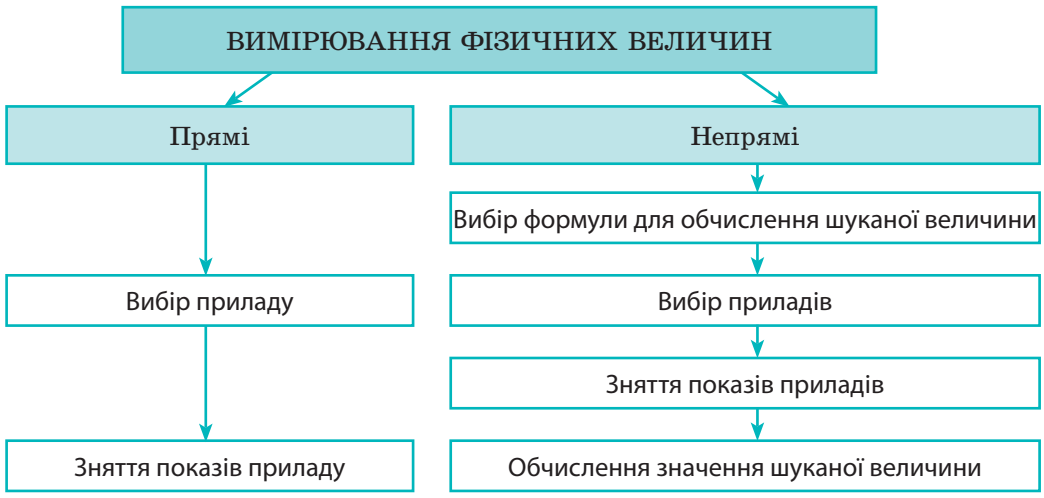
4. Ви ознайомилися з *основними методами фізичних досліджень*.



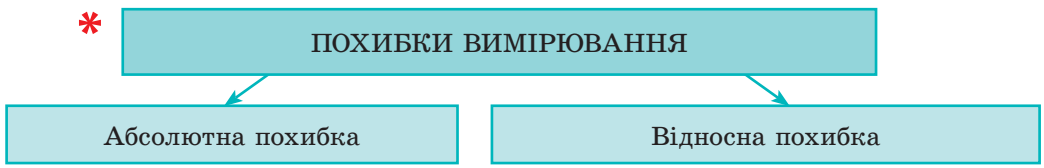
5. Ви розширили свої *знання про фізичні величини*.



6. Ви дізналися про *вимірювання фізичних величин*.



*



Завдання для самоперевірки до розділу 1 «Фізика як природнича наука. Пізнання природи»

У завданнях 1–6, 8, 9 виберіть одну правильну відповідь.

1. (*1 бал*) Хто із зазначених дослідників зробив великий внесок у розвиток фізики?
а) Ісаак Ньютон; б) Фернан Маґеллан; в) Джеймс Кук; г) Жак-Ів Кусто.

2. (*1 бал*) Прикладом фізичного тіла може бути:
а) мідь; б) маса; в) метеорит; г) хвилина.

3. *(1 бал)* Який префікс слід додати до основної одиниці фізичної величини, щоб отримати одиницю, яка менша від основної в 1000 разів?
а) санти- (с); б) кіло- (к); в) мілі- (м); г) мікро- (мк).

4. *(1 бал)* Яке з наведених понять можна вважати фізичним явищем?
а) швидкість руху; б) нагрівання; в) час; г) міркування.

5. *(2 бали)* Яке твердження є істинним?
а) Під час спостережень завжди виконують вимірювання.
б) Експерименти проводять в умовах, які перебувають під контролем ученого.
в) Під час експериментів ніколи не виконують вимірювань.
г) Результати спостереження є критерієм істинності гіпотези.

6. *(2 бали)* Унаслідок явища дифузії:
а) кисень із повітря потрапляє навіть на дно глибокої водойми;
б) зменшується довжина рейки під час її охолодження;
в) тане лід;
г) рідина збирається в краплі.

7. *(2 бали)* Виберіть *усі* правильні відповіді. Молекули речовини:
а) завжди перебувають у стані спокою;
б) безперервно та хаотично рухаються;
в) тільки притягуються одна до одної;
г) тільки відштовхуються одна від одної;
д) відштовхуються одна від одної та притягуються одна до одної;
е) розташовані так, що між ними немає проміжків.

8. *(3 бали)* Яка нерівність є істинною?
а) 520 см > 52 дм; в) 3300 г < 33 кг;
б) 2000 мкм > 20 мм; г) 3 с < 300 мс.

9. *(3 бали)* Акваріум має форму прямокутного паралелепіпеда, довжина якого становить 0,50 м, ширина — 300 мм, висота — 42 см. Якою є місткість акваріуму?
а) $6{,}3 \cdot 10^{-2}$ м^3; в) $6{,}3 \cdot 10^{3}$ см^3;
б) $6{,}3 \cdot 10^{5}$ см^3; г) $6{,}3 \cdot 10^{3}$ мм^3.

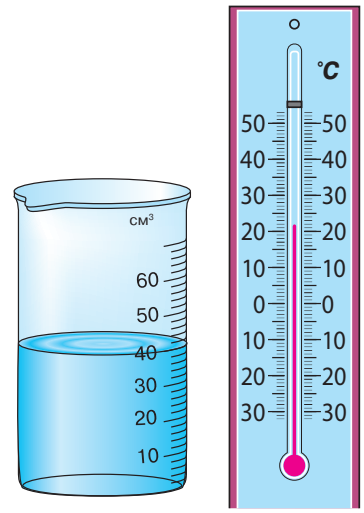


Рис. 1

www.e-ranok.com.ua

10. *(3 бали)* Розгляньте рис. 1 і заповніть таблицю.

Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця фізичної величини	Ціна поділки шкали приладу	Показ приладу	Межі вимірювання	
					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)* Бруски, один із яких зображений на рис. 3, слід упакувати в коробку висотою 2,5 см, довжиною 14 см і шириною 6 см. Яку *максимальну* кількість брусків можна покласти в цю коробку, щоб можна було її щільно закрити? Висота бруска — 0,8 см, ширина — 1,2 см.

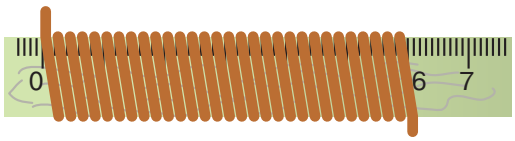


Рис. 2

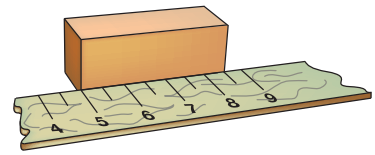


Рис. 3

Звірте ваші відповіді з наведеними наприкінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, полічіть суму балів. Цю суму поділіть на три. Сподіваємося, що ви отримали від 7 до 10 балів. Це добрий результат. А щоб отримати ще вищий бал, слід виконати завдання 14.

14. Підтвердьте або спростуйте твердження. Обґрунтуйте свою відповідь.

- Фізика не закінчується за дверима шкільного кабінету.
- Відомо, що 1 дм^3 = 1 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».

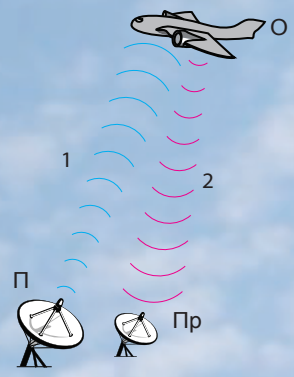
www.e-ranok.com.ua

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 абревіатури GPS і взагалі не існувало. Нині найпростіші моделі сонарів може придбати кожен рибалка, радарами оснащують не лише літаки, але й невеликі катери, а система GPS рекламується як найкращий засіб від викрадень автомобілів.

Радіолокатор / радар

На початку XX 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, це означає, що він виявив об'єкт (літак). За швидкістю поширення радіохвилі (300 000 км/с), інтервалом часу між моментом випромінювання та моментом 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:
П — передавач;
Пр — приймач;
О — об'єкт (літак);
1 — випромінювана хвиля;
2 — відбита хвиля.
У сучасних радарах передавач і приймач зазвичай поєднуються



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

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)* ***n****(avigation)* ***a****(nd)* ***r****(anging)* — звукова навігація та визначення дальності.

GPS — абревіатура від англійських слів *global position system* — всесвітня система визначення місця перебування.

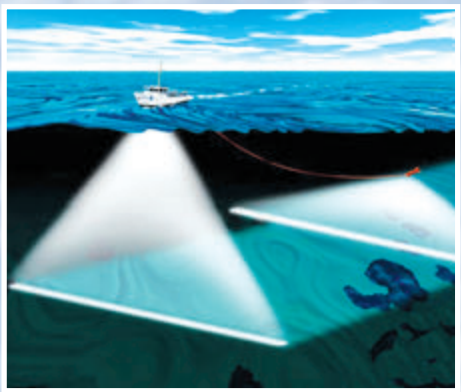
Це цікаво



Систему GPS спочатку було створено на замовлення американського уряду. Сьогодні ця система застосовується у багатьох сферах: міське та сільське господарство, природні ресурси, археологія, навігація, спорт, моніторинг рухомих об'єктів.

Європейський Союз завершує створення власної системи навігації, яка є аналогом GPS. Ця система має назву Galileo.

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 відбитого сигналу — напрямок 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, 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 багатьох 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. Для цього пристрій повинен отримати сигнали від трьох-чотирьох різних супутників одночасно та опрацювати отримані дані за допомогою вбудованого комп'ютера.

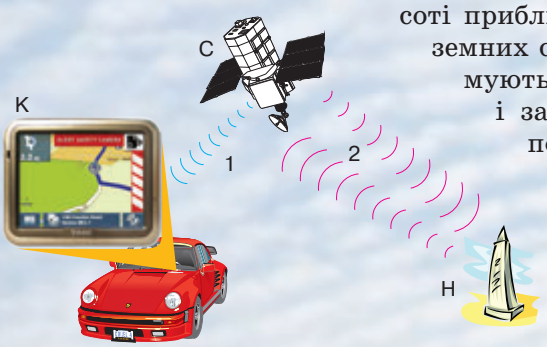


Схема роботи системи GPS: С — супутник; Н — наземні системи; К — користувач приладу GPS; 1 — радіосигнал до користувача; 2 — радіообмін із наземними системами

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 учений давнини.
18. Досягнення і трагедії геніального фізика Ґалілео Ґалілея.
19. Генії фізичної науки XX 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.

www.e-ranok.com.ua

РОЗДІЛ 2

МЕХАНІЧНИЙ РУХ

- Ви знаєте, як визначити шлях, подоланий тілом, а дізнаєтесь, як визначити переміщення цього тіла
- Ви уявляєте, що таке точка, а дізнаєтеся 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 стоянки, 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



§ 6. МЕХАНІЧНИЙ РУХ. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ. СИСТЕМА ВІДЛІКУ. МАТЕРІАЛЬНА ТОЧКА

Згадайте: ви сидите у вагоні потяга й дивитеся на інший потяг, що стоїть на сусідній колії. Раптом вам здається, що ваш потяг рушив з місця, адже за вікном почали пропливати вагони сусіднього потяга. І тут ви дивитесь у вікно навпроти і… розумієте, що ваш потяг, як і раніше, стоїть на пероні. А якби вікна навпроти не було, змогли б ви з'ясувати, чи ваш потяг відправився від станції?

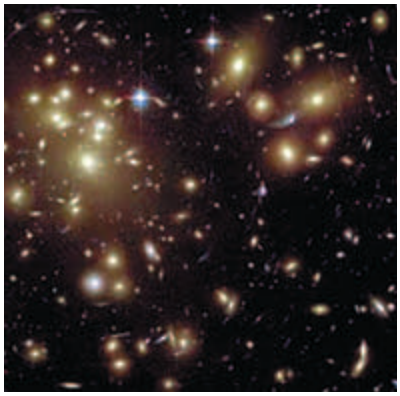






Рис. 6.1. Усе у світі рухається: і величезні галактики, і тіла, що нас оточують, і мікроскопічні істоти

1 Знайомимося з механічним рухом

Усе у світі перебуває в русі (рис. 6.1): мільярди років, що існує Всесвіт, розлітаються одна від одної галактики; Земля обертається навколо Сонця, здійснюючи один оберт за рік; за декілька годин літак перелітає із Києва до Парижа; у краплині води безліч мікробів щосекунди пересуваються з місця на місце; увесь час рухаються молекули.

Незважаючи на розмаїття прикладів руху, для них можна визначити спільні риси: по-перше, *всі 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.

2 Даємо означення системи відліку

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

Тіло, відносно якого розглядається положення рухомого тіла, називають **тілом відліку.**

Вибір тіла відліку є довільним. За тіло відліку можна взяти будь-яке тіло з міркувань зручності. Це може бути як вагон потяга, так і перон вокзалу, як дерево

www.e-ranok.com.ua

на узбіччі, так і автомобіль, що мчить дорогою. Тілом відліку можуть бути і планета Земля, і Сонце, і далекі галактики.

Яке тіло, на вашу думку, доцільно обрати за тіло відліку, досліджуючи ваш рух на перерві; на уроці фізкультури; під час подорожі?

Після того як тіло відліку вибрано, з ним пов'язують систему координат. Система координат задається за допомогою однієї, двох або трьох *координатних осей*; уздовж осей відкладають відстані в обраному масштабі, наприклад у кілометрах або метрах (рис. 6.2, 6.3).

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

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

3 Визначаємо, коли тіло можна вважати за матеріальну точку

Зазвичай під час руху тіла кожна його точка рухається по-різному. На практиці дослідити рух усіх точок тіла досить складно, та часто в цьому й немає потреби. Описуючи рух тіла, розміри якого набагато менші, ніж відстані, які воно долає, тіло замінюють на фізичну модель — *матеріальну точку*. Матеріальна точка не має розмірів, а її маса дорівнює масі даного тіла.

Матеріальна точка — це фізична модель 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 по-різному, адже відстань, яку подолав автомобіль, була набагато більшою, ніж його, скажімо, довжина. У другому випадку нехтувати розмірами автомобіля не можна.

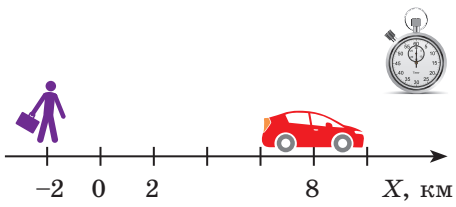


Рис. 6.2. Щоб визначити положення пішохода й автомобіля в певний момент часу на прямолінійній ділянці дороги, досить однієї координати: $x_п = -2$ км; $x_а = 8$ км

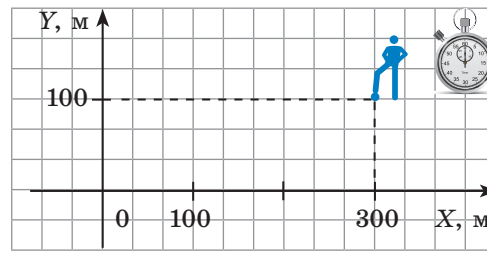


Рис. 6.3. Щоб визначити положення футболіста на полі в певний момент часу, потрібно знати дві координати: $x = 300$ м; $y = 100$ м

www.e-ranok.com.ua

Спробуйте навести подібні приклади, взявши за досліджувані тіла людину, Землю, олівець, дерево.

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

4 Дізнаємося про відносність руху та спокою

Те, що тіло відліку обирається довільно, означає, що *стан руху і стан спокою є відносними*.

Уявіть пасажира, який їде, сидячи в кріслі вагона потяга (рис. 6.4). Відносно крісла та вагона пасажир не змінює свого положення з часом, тобто перебуває у стані спокою, а відносно дерев за вікном пасажир рухається.

Читаючи ці рядки, ви, найімовірніше, сидите в класі за партою або вдома за столом. Спробуйте назвати тіла, відносно яких ви рухаєтесь, і тіла, відносно яких ви 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 і не обганяючи його. У такому випадку автомобілі один відносно одного перебуватимуть у стані спокою. Згадайте, як каскадери пересідають з одного автомобіля, що мчить, на інший, що рухається поряд! Той самий принцип використовують і для заправлення літака пальним під час польоту (рис. 6.5).

Підбиваємо підсумки

Механічний рух — зміна з часом положення тіла або частин тіла у просторі відносно інших тіл. Тіло, відносно якого розглядається положення рухомого тіла, називають тілом відліку.



Рис. 6.4. Пасажир рухається відносно дерев за вікном потяга і залишається нерухомим відносно вагона



Рис. 6.5. Заправлення літака в повітрі: літаки перебувають у стані спокою один відносно одного

www.e-ranok.com.ua

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.

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



Контрольні запитання

1. Дайте означення механічного руху. Наведіть приклади. **2.** Що таке тіло відліку? **3.** Як задають систему координат? **4.** Які об'єкти утворюють систему відліку? **5.** У яких випадках тіло, що рухається, можна розглядати як матеріальну точку? **6.** Як ви розумієте вираз «механічний рух є відносним»?



Вправа № 6

1. Визначте, відносно яких тіл розглядають рух у таких прикладах: а) шматок пінопласту нерухомо лежить на поверхні води в річці; б) повз автомобіль «пролітають» придорожні стовпи; в) Сонце вранці встає на сході, а ввечері сідає на заході.
2. Яків Ісидорович Перельман (1882–1942) у своїй книзі «Цікава фізика» описує випадок, який трапився із пілотом літака на початку XX ст. (літаки тоді літали досить повільно, а кабіна пілота була відкритою). Піднявшись на висоту 2 км, пілот побачив біля свого обличчя якийсь предмет. Подумавши, що це комаха, пілот спіймав предмет. Але «комаха» виявилась кулею з рушниці. Чому пілот зміг спіймати кулю?
3. Чи можна вважати космічний корабель матеріальною точкою, коли він: а) здійснює переліт Земля — Марс? б) здійснює посадку на поверхню Марса?
4. Координати дерева, каменя та світлофора, розташованих на узбіччі прямолінійної ділянки дороги, відповідно такі: $x_д = -1$ км; $x_к = 2$ км; $x_с = 3{,}5$ км. Накресліть координатну вісь, позначте на ній початок координат і положення зазначених тіл. Визначте відстань між тілами.
5. Грибник спочатку був у точці A з координатою $x = 200$ м, $y = 100$ м. Через годину він перемістився в точку B, розташовану на відстані 1,5 км від точки A у напрямку на південь, а ще через півгодини — в точку C, розташовану на відстані 400 м від точки B у напрямку на захід. Накресліть у зошиті систему координат, зобразіть зазначені точки та визначте їхні координати. Домовимося, що напрямок осі OX є напрямком на схід, а напрямок осі OY — напрямком на північ.



Експериментальне завдання

Пов'яжіть із вашим столом двомірну систему координат, обравши за початок координат будь-який кут столу, а за осі координат — краї столу, що до цього кута прилягають. Визначте координати гумки, настільної лампи або інших предметів на столі. Подайте звіт у вигляді рисунка в певному масштабі. На рисунку зазначте масштаб, осі координат, розташування предметів та їхні координати.

www.e-ranok.com.ua

§ 7. ТРАЄКТОРІЯ РУХУ. ШЛЯХ. ПЕРЕМІЩЕННЯ

Візьміть аркуш паперу. Поставте на ньому точки *A* і *B* та з'єднайте їх кривою лінією (рис. 7.1). Ця лінія збігається з *траєкторією руху* кінчика олівця, тобто лінією, в кожній точці якої послідовно побував кінчик олівця під час свого руху. Відповідь на те, що таке траєкторія руху, а також на багато інших запитань ви знайдете в цьому параграфі.



Рис. 7.1. На папері кінець олівця залишає лінію, по якій рухався



Рис. 7.2. Іноді за слідами легко відновити траєкторію руху тіла

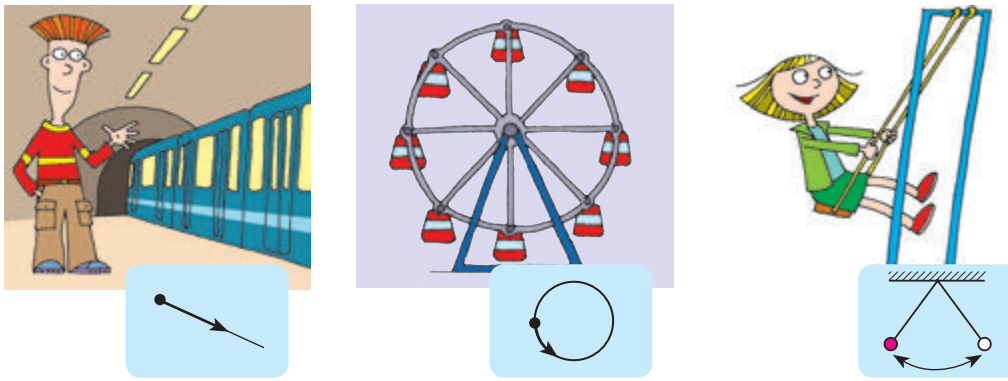
1 Дізнаємося про траєкторію руху

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

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, траєкторії руху яких тіл можна відновити за слідами, зображеними на рис. 7.2? Поміркуйте, в яких випадках траєкторію руху «заготовлюють» заздалегідь.

Форма траєкторії може бути різною: пряма, коло, дуга, ламана тощо. *За формою траєкторії рух тіл поділяють на прямолінійний* і *криволінійний* (рис. 7.3).



а *б* *в*

Рис. 7.3. Рух потяга на станції метро (*а*) — приклад прямолінійного руху; рух кабінки оглядового колеса (*б*) і рух гойдалки (*в*) — приклади криволінійного руху. Стрілками показано напрямок руху

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

www.e-ranok.com.ua

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

Наведемо приклад. У хлопчика, який їде в автобусі, впало з рук яблуко (рис. 7.4). Для дівчинки, яка сидить навпроти, траєкторія руху яблука — короткий відрізок прямої. У цьому випадку система відліку, відносно якої розглядають рух яблука, пов'язана із салоном автобуса. Але весь час, поки яблуко падало, воно «їхало» разом з автобусом, тому для людини, що стоїть на узбіччі дороги, траєкторія руху яблука зовсім інша. Система відліку в такому разі пов'язана з дорогою.



Рис. 7.4. Траєкторія руху яблука для пасажирів автобуса — короткий відрізок прямої (на схемі — *лінія 1*), для людини на узбіччі дороги — крива лінія (на схемі — *лінія 2*)

2 З'ясовуємо, чим шлях відрізняється від переміщення

Повернемося на початок параграфа (див. рис. 7.1). Щоб знайти шлях, який подолав кінець олівця, рисуючи криву лінію, необхідно виміряти довжину цієї лінії, тобто знайти довжину траєкторії (рис. 7.5).

Шлях — це фізична величина, яка дорівнює довжині траєкторії.

Шлях позначають символом l.
Одиниця шляху в СІ — **метр:**

$$[l] = \text{м}.$$

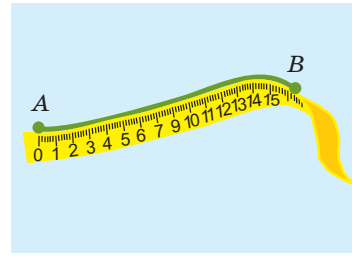


Рис. 7.5. Вимірювання довжини траєкторії

Використовують також частинні та кратні одиниці шляху, наприклад *міліметр* (мм), *сантиметр* (см), *кілометр* (км):

1 мм = 0,001 м
1 см = 0,01 м
1 км = 1000 м

Шлях, який подолало тіло, буде різним відносно різних систем відліку. Згадаємо яблуко в автобусі (див. рис. 7.4): для пасажирів яблуко подолало шлях близько півметра, а для людини на узбіччі дороги — декілька метрів.

Звернемося знову до рис. 7.1 і з'єднаємо точки A і B відрізком прямої зі стрілкою (рис. 7.6). Отримаємо *напрямлений відрізок*, який покаже, *в якому напрямку* та *на яку відстань перемістився* кінець олівця.

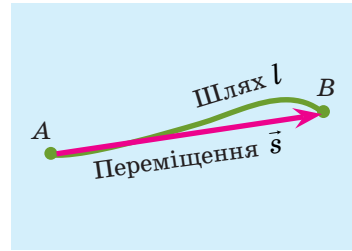


Рис. 7.6. Переміщення показує, в якому напрямку та на яку відстань перемістилося тіло за певний інтервал часу

www.e-ranok.com.ua

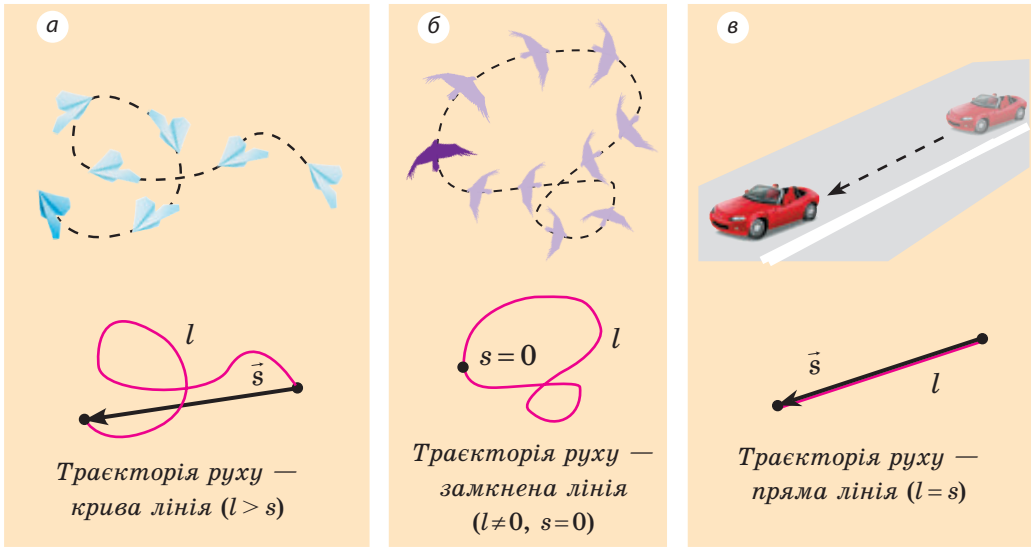


Рис. 7.7. Порівняння шляху l і модуля переміщення s тіла

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

Переміщення позначають символом $\vec{s}$.

Стрілка над символом фізичної величини показує, що *переміщення — це векторна фізична величина**. Щоб правильно задати переміщення, необхідно зазначити не тільки його значення (модуль), але й напрямок.

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

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

$$[s] = \text{м}.$$

У загальному випадку переміщення не збігається з траєкторією руху тіла (рис. 7.7, *а*, *б*), тому шлях, подоланий тілом, зазвичай більший за модуль переміщення. Шлях і модуль переміщення виявляються рівними лише в тому випадку, коли тіло рухається вздовж прямої в незмінному напрямку (рис. 7.7, *в*).



Підбиваємо підсумки

Уявну лінію, яку описує в просторі точка, що рухається, називають траєкторією. За видом траєкторії рух тіл поділяють на прямолінійний і криволінійний.

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

www.e-ranok.com.ua

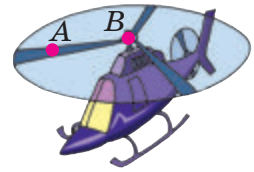
Шлях l — це фізична величина, яка дорівнює довжині траєкторії. Переміщення $\vec{s}$ — це напрямлений відрізок прямої, який з'єднує початкове та кінцеве положення тіла. Одиниця шляху та переміщення в СІ — метр (м).

Контрольні запитання

1. Дайте означення траєкторії руху. **2.** Дайте означення шляху. **3.** Назвіть одиницю шляху в СІ. **4.** Чому, знаючи тільки шлях, не можна визначити кінцеве положення тіла? **5.** Дайте означення переміщення. **6.** Як переміщення позначають на кресленнях? **7.** У якому випадку модуль переміщення дорівнює подоланому шляху? **8.** Чи залежать траєкторія руху тіла, шлях і переміщення від вибору системи відліку? Наведіть приклади.

Вправа № 7

1. Футболіст пробігає за матч близько 10 км. 10 км — це шлях чи модуль переміщення футболіста? Яким може виявитися мінімальний модуль переміщення футболіста за матч?



2. Гелікоптер піднімається вертикально вгору (див. рисунок). Зобразіть траєкторію руху точок A і B, розташованих на лопатях гвинта гелікоптера: а) відносно пілота; б) відносно Землі.

3. 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 пасажир рухався: а) в напрямку руху потяга; б) в напрямку, протилежному напрямку руху потяга.

4. У початковий момент часу тіло перебувало в точці A з координатами $x_0 = 4$ м, $y_0 = -3$ м. Через певний інтервал часу тіло перемістилося в точку B з координатами $x = -4$ м, $y = 3$ м. Накресліть у зошиті систему координат, зазначте точки A і B, зобразіть вектор переміщення та визначте його модуль. Чи можна, використавши дані задачі, визначити шлях, подоланий тілом?

5. 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.

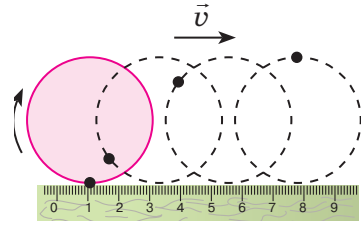
6. Скориставшись картою міста (села), в якому ви мешкаєте, побудуйте траєкторію вашого руху від дому до школи. Визначте шлях, який ви долаєте, і модуль переміщення.

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

www.e-ranok.com.ua

Експериментальне завдання

«Циклоїда». Побудуйте *циклоїду* — траєкторію руху точки на ободі колеса під час прямолінійного руху транспортного засобу. Для цього:



1) зробіть паперовий круг діаметром 2–3 см — «колесо», на «ободі» якого поставте точку;

2) покладіть лінійку на аркуш паперу, поряд із лінійкою розмістіть «колесо» так, щоб воно її торкалося;

3) перекочуючи «колесо» вздовж лінійки, якнайчастіше позначайте на папері положення зазначеної точки (див. рисунок);

4) з'єднайте одержані позначки плавною лінією.

Оберіть інші точки, проколовши в «колесі» 2–3 отвори, один з яких розташуйте в центрі колеса. Побудуйте траєкторію руху кожної точки.

Фізика і техніка в Україні



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

У роки Другої світової війни (1939–1945) Є. О. Патон запровадив технологію автоматичного зварювання і цим здійснив значний внесок в оборонну промисловість країни. Автомати швидкісного зварювання дозволили суттєво полегшити процес виготовлення важкої техніки, а крім того, не вимагали від робітників високої кваліфікації, глибоких спеціальних знань і великих фізичних зусиль. Зварювальниками могли працювати підлітки та жінки.

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

§ 8. РІВНОМІРНИЙ РУХ. ШВИДКІСТЬ РУХУ

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

1 Знайомимося з рівномірним рухом

Слово «швидкість» ви знаєте змалку. Тому, коли чуєте, що швидкість руху автомобіля становить 20 метрів за секунду, то розумієте: автомобіль, рухаючись із такою швидкістю, кожну секунду долає відстань 20 м.

www.e-ranok.com.ua

Поміркуйте, яку відстань подолає цей автомобіль за 10 секунд; за півсекунди; за 0,1 секунди.

Скоріш за все, більшість із вас відповіли так: за 10 с автомобіль подолає 200 м, за півсекунди — 10 м, за 0,1 с — 2 м. І ці відповіді є правильними, якщо вважати, що *за будь-які* (малі або великі) *рівні інтервали часу* автомобіль долає *однаковий шлях*. Тобто якщо рух автомобіля є *рівномірним*.

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

Зверніть увагу на слова «*будь-які рівні* інтервали часу». Інколи, розглядаючи навіть *нерівномірний* рух тіла, теж можна дібрати такі рівні інтервали часу, за які тіло долає 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 розвороту він сповільнює рух.

2 Вивчаємо рівномірний прямолінійний рух

Якщо автомобіль рівномірно рухається прямолінійною ділянкою дороги, то за рівні інтервали часу він здійснює однакові переміщення (рис. 8.1), тобто долає однаковий шлях і не змінює напрямку свого руху. Такий рух називають *рівномірним прямолінійним*.

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

Рівномірний прямолінійний рух — найпростіший вид руху, який у реальному житті зустрічається дуже рідко. Прикладами такого руху можуть бути рух автомобіля на прямолінійній ділянці дороги (без розгону та гальмування), стабільне падіння кульки в рідині, політ парашутиста через деякий час після розкриття парашута.

3 Даємо означення швидкості рівномірного руху

Сподіваємося, вам неважко визначити швидкість рівномірного руху, наприклад, пішохода, який пройшов 30 м за 20 с. Із курсу

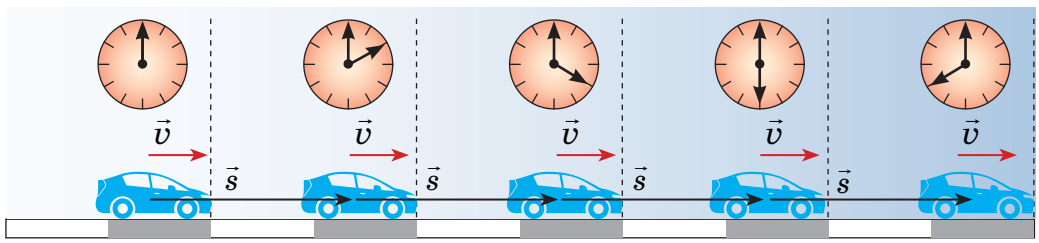


Рис. 8.1. Автомобіль, який рухається рівномірно прямолінійно, за будь-які рівні інтервали часу здійснює однакові переміщення

www.e-ranok.com.ua

математики вам добре відомо, що для цього слід шлях, який подолав пішохід ($l = 30$ м), поділити на час його руху ($t = 20$ с).

Швидкість рівномірного руху *(υ)* — це фізична величина, що дорівнює відношенню шляху l, який подолало тіло, до інтервалу часу t, протягом якого цей шлях був подоланий:

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

Зверніть увагу! У ході рівномірного прямолінійного руху модуль переміщення дорівнює шляху ($s = l$), тому значення швидкості руху можна визначити за будь-якою з формул:

$$\upsilon = \frac{s}{t} \text{ або } \upsilon = \frac{l}{t}.$$

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

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

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

Приладом для вимірювання швидкості руху слугує *спідометр.*

4 Характеризуємо швидкість руху

Швидкість руху — векторна величина: вона має не лише значення, а й напрямок. На рисунках напрямок швидкості руху тіла позначають стрілкою (див. рис. 8.1, 8.2). Якщо тіло рухається рівномірно прямолінійно, то значення і напрямок швидкості руху залишаються незмінними (див. рис. 8.1). Якщо тіло рухається рівномірно криволінійною траєкторією, значення швидкості руху залишається незмінним, а напрямок увесь час змінюється (див. рис. 8.2).

Напрямок і значення швидкості руху залежать від того, відносно якого тіла розглядають рух. Уявіть, що ви сидите у вагоні потяга, який прямує на схід (рис. 8.3). Потяг проїжджає повз станцію зі швидкістю $\upsilon_{\text{пот}} = 5\frac{\text{м}}{\text{с}}$. У цей час інший пасажир іде вагоном зі швидкістю $\upsilon_{\text{пас}} = 0{,}5\frac{\text{м}}{\text{с}}$, рухаючись проти руху потяга.

Як ви вважаєте, чи однаковою буде швидкість руху пасажира для вас і для людей, що стоять на пероні? Звісно, ні! Для вас пасажир рухається на захід зі швидкістю $0{,}5\frac{\text{м}}{\text{с}}$, а для людей на пероні він разом із потягом рухається на схід зі швидкістю $4{,}5\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

www.e-ranok.com.ua

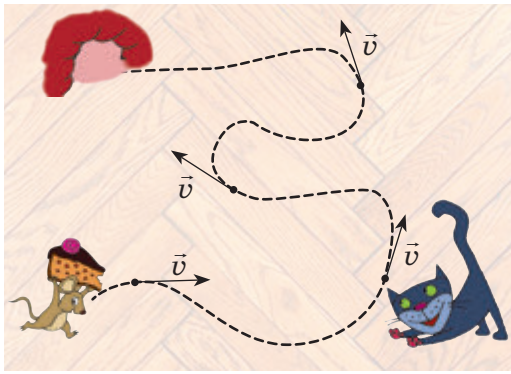


Рис. 8.2. У ході криволінійного руху напрямок швидкості руху весь час змінюється

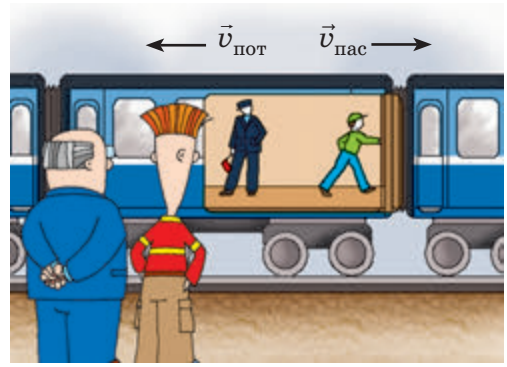


Рис. 8.3. Напрямок і значення швидкості руху залежать від того, де перебуває спостерігач

Значення швидкості руху може бути подано не тільки в метрах за секунду, але й в інших одиницях. Наприклад, автомобіль рухається зі швидкістю 36 кілометрів за годину $\left(v_{авт} = 36\,\frac{км}{год}\right)$, ракета мчить зі швидкістю 8 кілометрів за секунду $\left(v_р = 8\,\frac{км}{с}\right)$, равлик повзе зі швидкістю 18 сантиметрів за хвилину $\left(v_{равл} = 18\,\frac{см}{хв}\right)$ тощо.

Для розв'язування задач слід навчитися подавати швидкість руху, виражену в одних одиницях, в інших одиницях. Як це зробити? Наведемо приклад.

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

$$36\,\frac{км}{год} = \frac{36\,км}{1\,год} = \frac{36 \cdot 1000\,м}{3600\,с} = 10\,\frac{м}{с}.$$

Спробуйте подати в метрах за секунду швидкості руху ракети та равлика.

Найскладніше подавати в інших одиницях швидкість руху, надану в метрах за секунду, але послідовність дій залишається тією самою.

Наприклад, швидкість руху літака — 250 м/с. Подамо її в кілометрах за годину (згадаємо, що 1 м = 0,001 км; 1 с = $\frac{1}{3600}$ год):

$$250\,\frac{м}{с} = \frac{250\,м}{1\,с} = \frac{250 \cdot 0{,}001\,км}{\frac{1}{3600}\,год} = 250 \cdot 0{,}001 \cdot 3600\,\frac{км}{год} = 250 \cdot 3{,}6\,\frac{км}{год} = 900\,\frac{км}{год}.$$

www.e-ranok.com.ua

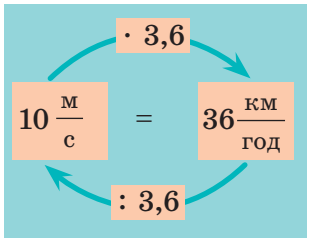


Рис. 8.4. Схема переведення швидкості руху, поданої в метрах за секунду, у швидкість, подану в кілометрах за годину, і навпаки

Щоб швидкість руху, подану в метрах за секунду, подати в кілометрах за годину (і навпаки), можна скористатися схемою на рис. 8.4.

5 Визначаємо шлях і час руху тіла

З курсу математики ви знаєте: якщо відомі швидкість і час руху тіла, то можна знайти шлях, який подолало тіло. Для цього слід швидкість руху помножити на час:

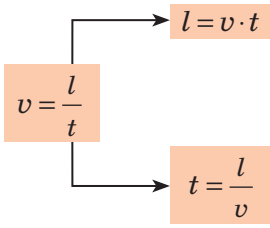
$$l = vt,$$

де l — шлях; v — швидкість руху; t — час руху із зазначеною швидкістю.

Якщо відомі шлях і швидкість руху тіла, можна знайти час руху тіла. Для цього необхідно шлях поділити на швидкість руху:

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

Інколи для знаходження шляху, швидкості або часу руху тіла зручно скористатися «чарівним трикутником» (рис. 8.5).



Підбиваємо підсумки

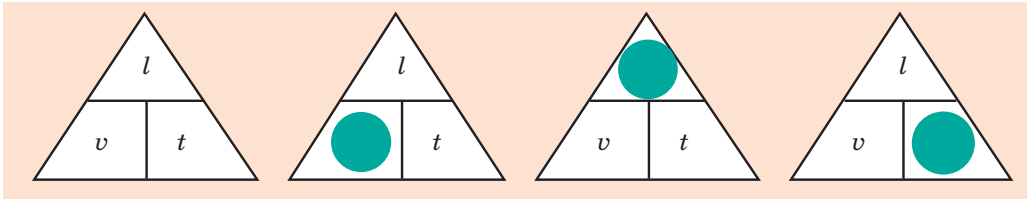
Рівномірний рух — це механічний рух, у ході якого за будь-які рівні інтервали часу тіло долає однаковий шлях.

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

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

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

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



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

Рис. 8.5. Закривши пальцем символ шуканої величини (позначення шляху, часу або швидкості руху), отримаємо формулу для її визначення

www.e-ranok.com.ua

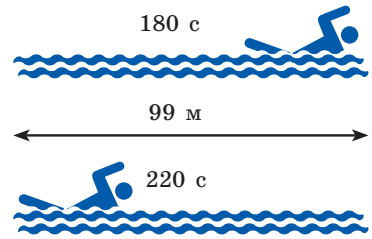
Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним? **2.** Який рух називають рівномірним прямолінійним? Наведіть приклади. **3.** Як знайти швидкість рівномірного руху тіла? **4.** Назвіть одиниці швидкості руху. **5.** Спідометри автомобілів проградуйовані в кілометрах за годину. Як швидкість, виміряну спідометром, подати в метрах за секунду? **6.** Як визначити шлях, подоланий тілом, якщо відомі швидкість і час руху тіла? **7.** Як визначити час руху тіла, якщо відомі шлях і швидкість його руху?

Вправа № 8

1. Стадо антилоп може досить довгий час зберігати швидкість руху 80 км/год. Який шлях подолає стадо за півгодини?

2. Вважаючи рух плавців рівномірним (див. рисунок), визначте швидкість руху кожного з них.



3. Визначте, яка швидкість руху більша: 16 м/с чи 54 км/год.

4. Подайте в метрах за секунду: 18 км/год; 108 км/хв; 72 см/хв.

5. Подайте в кілометрах за годину: 2 м/с; 30 км/хв; 20 см/с.

6. 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.

7. Скористайтесь додатковими джерелами інформації та підготуйте презентацію про швидкість руху в живій природі або про швидкість руху сучасних транспортних засобів. Зробіть коротке повідомлення.

Експериментальне завдання

«Автомобільні перегони». Влаштуйте з друзями перегони іграшкових автомобілів. Для цього до кожного іграшкового автомобіля прив'яжіть нитку. Другий кінець нитки закріпить 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? Подайте результати ваших перегонів у вигляді таблиці змагань.



§ 9. УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

У повсякденному житті ви вже зустрічалися з фізичними задачами і навіть розв'язували їх! Ви здивовані? Наведемо декілька прикладів фізичних задач, прокоментуємо основні етапи їх розв'язання, і надалі ви будете підходити до розв'язання таких задач як справжні фізики.

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 вчасно, якщо будете йти зі швидкістю $3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$? З якою найменшою швидкістю ви можете 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 більш ніж 15 хв ($t_2 = 15$ хв).

Вважатимемо рух рівномірним.

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

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

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

Закінчивши аналіз, запишемо коротку умову задачі.

Дано:
$l = 1800$ 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:

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

1-й етап. Аналіз фізичної проблеми

1. Уважно читаємо умову задачі, з'ясовуємо, 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 та 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 передує 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.

www.e-ranok.com.ua

Розв'язання. Знайдемо вирази для розрахунку шуканих величин t_1 і v_2:

$$v_1 = \frac{l}{t_1},\ \text{тому}\quad t_1 = \frac{l}{v_1};\ v_2 = \frac{l}{t_2}.$$

Перевіримо одиниці шуканих величин:

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

Визначимо числові значення шуканих величин:

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

$$v_2 = \frac{1800}{900} = 2\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right);\ v_2 = 7{,}2\left(\frac{\text{км}}{\text{год}}\right).$$

Зверніть увагу! Для отримання відповіді у вираз для шуканої величини можна відразу підставляти і числові значення, і одиниці відомих величин. У такому випадку записуємо так:

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

$$v_2 = \frac{1800\ \text{м}}{900\ \text{с}} = 2\frac{\text{м}}{\text{с}} = 7{,}2\frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Аналіз результатів. Оскільки $t_1 > t_2$, то, рухаючись зі швидкістю $v_1 = 3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$, ви не встигнете до початку уроків. Щоб не спізнитися, треба рухатися зі швидкістю, значення якої більше за $3{,}6\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Саме таке значення отримано в ході розв'язання. Отже, одержані значення шуканих величин є цілком правдоподібними.

Відповідь: $t_1 = 30$ хв; $v_2 = 7{,}2\frac{\text{км}}{\text{год}}$.

3-й етап **Розв'язання. 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**



Задача 2. Озером назустріч один одному рівномірно прямолінійно рухаються два катери. На початок спостереження відстань між катерами становить 1500 м. Швидкість руху першого катера дорівнює $36\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$, другого — $54\ \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Через який час катери зустрінуться? Яку відстань подолає до зустрічі перший катер?

Аналіз фізичної проблеми. 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.

Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

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

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

$l = 1500$ м

Знайти:

t — ?

l_1 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням швидкості руху $v = \frac{l}{t} \Rightarrow t = \frac{l}{v}$ (*).

Оскільки $v = v_1 + v_2$, то $t = \frac{l}{v_1 + v_2}$.

Знаючи час t і швидкість руху v_1, визначимо шлях l_1, який подолає перший катер до зустрічі: $l_1 = v_1 \cdot t$.

Перевіримо одиниці шуканих величин:

$$[t] = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \text{с}; \quad [l_1] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}} = \text{м}.$$

Визначимо числові значення шуканих величин:

$$t = \frac{1500}{10 + 15} = \frac{1500}{25} = 60 \text{ (с)}; \quad l_1 = 10 \cdot 60 = 600 \text{ (м)}.$$

Аналіз результатів. Оскільки перший катер рухається повільніше від другого, то до моменту зустрічі він подолає менший шлях. Такий результат й отримано: $l_1 = 600$ м, а l_2 відповідно $1500\text{ м} - 600\text{ м} = 900\text{ м}$. Тому результати є цілком реальними.

Відповідь: $t = 60$ с; $l_1 = 600$ м.



Вправа № 9

1. Крейсерська швидкість** руху сучасного українського літака АН-158 становить 820 км/год. Скільки часу витратить літак, щоб подолати 410 км?

* Символ $\Rightarrow$ використовують для спрощення й скорочення запису тексту. Тут він означає: оскільки $v = \frac{l}{t}$, то $t = \frac{l}{v}$.

** *Крейсерська швидкість* — швидкість руху літака або судна за найменших витрат палива.

www.e-ranok.com.ua

2. Судно йде рівномірно зі швидкістю 7,5 м/с. Який шлях подолає судно за 2 години?

3. Хлопчик, рухаючись із незмінною швидкістю, подолав відстань від свого будинку до шкільного стадіону за 1,5 хв. На зворотний шлях він витратив 70 с. Куди хлопчик рухався швидше — до стадіону чи додому? У скільки разів швидше?

4. Автонавантажувач рухається рівномірно вздовж ряду контейнерів. Контейнери, завдовжки 12 м кожний, стоять упритул один до одного. З якою швидкістю рухається автонавантажувач, якщо повз 5 контейнерів він проїжджає за 1 хв?

5. 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?

6. 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 довжина першого потяга — 900 м, а другого — 600 м?

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

§ 10. ГРАФІКИ РІВНОМІРНОГО РУХУ

Спортсмен, велосипед якого має спідометр, рухається по трасі (рис. 10.1). Швидкість руху, яку показує спідометр у будь-який момент часу, дорівнює 5 м/с . Як описати рух цього спортсмена і взагалі будь-якого тіла за допомогою графіків? Згадаємо, адже графіки руху тіл ви вивчали в курсі математики 6 класу.

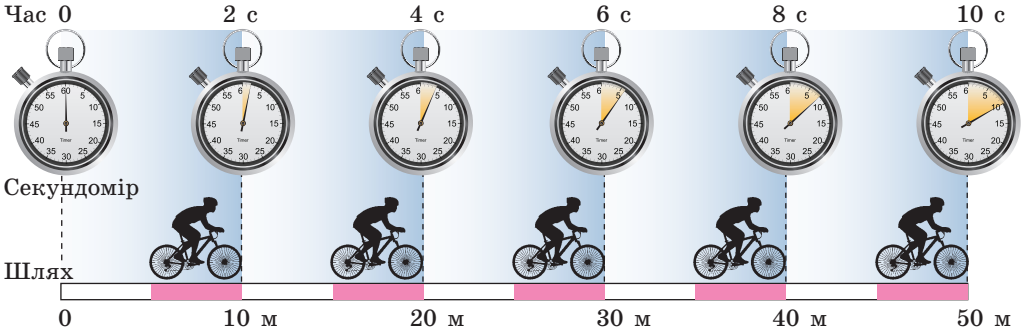


Рис. 10.1. Велосипедист рухається рівномірно: за будь-які рівні інтервали часу він долає однаковий шлях

www.e-ranok.com.ua

1 Будуємо графік залежності шляху від часу для рівномірного руху тіла

Побудуємо *графік залежності шляху*, що долає велосипедист (див. рис. 10.1), *від часу спостереження — графік шляху*.

Для побудови графіка виконаємо такі дії.

1. Заповнимо таблицю відповідних значень часу t руху спортсмена та шляху l, який він долає за цей час.

Зрозуміло, що в момент початку спостереження $(t=0)$ шлях теж дорівнює нулю $(l=0)$. За час $t=2$ с велосипедист подолає відстань 10 м: $l=v\cdot t=5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}\cdot 2\,\text{с}=10\,\text{м}$. Міркуючи аналогічно, отримаємо:

t, с	0	2	4	6	8	10
l, м	0	10	20	30	40	50

2. Проведемо дві взаємно перпендикулярні осі.

На горизонтальній осі — осі абсцис — відкладемо час руху велосипедиста в секундах (t, с) так, що одній клітинці відповідатиме інтервал часу 2 с. На вертикальній осі — осі ординат — відкладемо шлях у метрах (l, м) так, що одній клітинці відповідатиме шлях, який дорівнює 10 м (рис. 10.2, *а*).

3. Побудуємо точки з координатами: (0; 0), (2; 10), (4; 20), (6; 30), (8; 40), (10; 50).

Абсциси зазначених точок відповідають часу руху спортсмена, ординати — шляху, який він подолав за цей час (рис. 10.2, *б*).

4. З'єднаємо побудовані точки лінією (рис. 10.2, *в*). Отриманий відрізок прямої — *графік шляху* велосипедиста.

Зверніть увагу! Велосипедист рухається рівномірно, тому шлях, який він долає, можна визначити за формулою $l=vt$, у будь-який момент часу $v=5$ м/с; тому можна записати: $l=5t\,(\text{м})$, де час t задано в секундах. Рівність $l=5t$ — *рівняння залежності шляху*, який долає велосипедист, *від часу спостереження*.

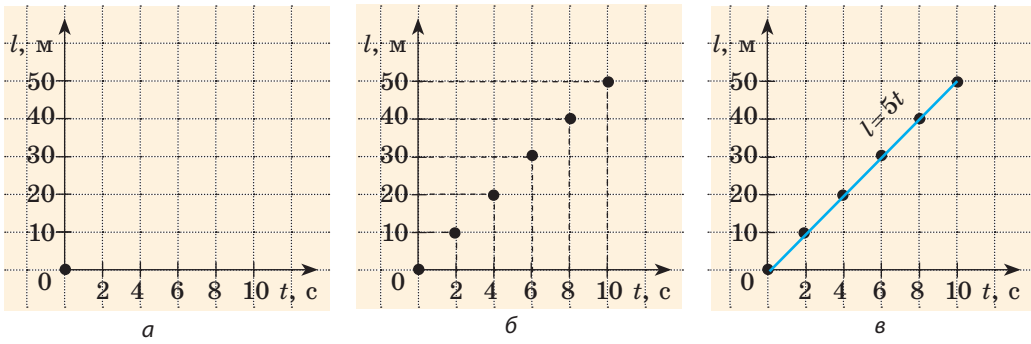


Рис. 10.2. Побудова графіка шляху велосипедиста, який рівномірно рухається зі швидкістю $v=5$ м/с

www.e-ranok.com.ua

У разі рівномірного руху графік шляху — це завжди відрізок прямої, нахиленої під певним кутом до осі часу. Тому для побудови графіка шляху достатньо знайти шлях l для двох значень часу t і через отримані дві точки провести відрізок прямої. Наприклад, будуючи графік шляху велосипедиста, слід узяти час початку спостереження $(t = 0)$ і час закінчення спостереження $(t = 10\ \text{с})$ (рис. 10.3).

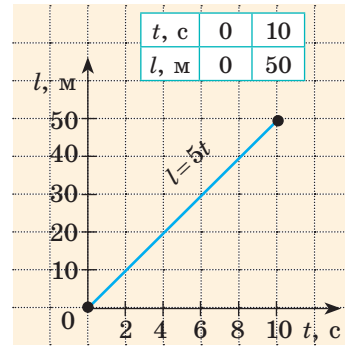


Рис. 10.3. Графік шляху для тіла, яке рухається з незмінною швидкістю 5 м/с

2 З'ясовуємо, про що можна дізнатися за графіком шляху

Графік шляху дає багато корисної інформації. За графіком шляху можна:

1) дізнатися про характер руху тіла;

2) визначити шлях, який долає тіло за певний інтервал часу;

3) визначити швидкість руху тіла;

4) порівняти швидкості руху тіл: *чим більша швидкість руху тіла, тим більший кут між графіком шляху та віссю часу* (рис. 10.4).

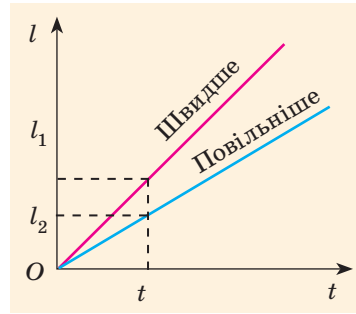


Рис. 10.4. За той самий час тіло, яке має більшу швидкість руху, долає більший шлях $(l_1 > l_2)$

Розглянемо приклад.

Задача. За графіком шляху, який подолало тіло за 4 години (рис. 10.5), дізнайтеся: 1) як рухалось тіло; 2) який шлях подолало тіло за першу годину; за наступні дві години; 3) якою була швидкість руху тіла на кожній ділянці.

Розв'язання

Із графіка бачимо, що весь шлях складається з трьох ділянок, на кожній з яких тіло рухалось рівномірно (графік шляху тіла — відрізки прямих).

Ділянка I. За графіком шлях, який подолало тіло за першу годину, дорівнює 20 км, тому швидкість руху тіла становила:

$$v_{\text{I}} = \frac{l_{\text{I}}}{t_{\text{I}}} = \frac{20\ \text{км}}{1\ \text{год}} = 20\ \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Ділянка II. За наступні 2 години тіло подолало шлях $l_{\text{II}} = 30\ \text{км} - 20\ \text{км} = 10\ \text{км}$. Відповідно швидкість руху тіла дорівнювала:

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

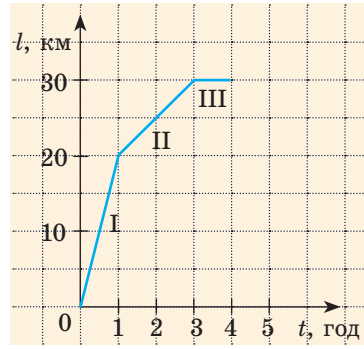


Рис. 10.5. До задачі в § 10

www.e-ranok.com.ua

Ділянка III. Останню годину шлях не змінювався, отже, тіло зупинилось: $l_{III} = 30\text{ км} - 30\text{ км} = 0$; $v = 0$.

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 тіла. Результат є цілком реальним.

3 Будуємо графік швидкості рівномірного руху тіла

Повернемося до велосипедиста, який рухається рівномірно зі швидкістю $v = 5$ м/с (див. рис. 10.1). Побудуємо графік залежності швидкості його руху від часу спостереження — *графік швидкості руху*.

Для побудови графіка виконаємо таки дії.

1. Заповнимо таблицю відповідних моментів часу t руху спортсмена та швидкості руху v, яку він мав у ці моменти часу:

t, с	0	2	4	6	8	10
v, м/с	5	5	5	5	5	5



Рис. 10.6. Графік швидкості руху велосипедиста, який рухається рівномірно зі швидкістю $v = 5$ м/с. Час спостереження $t = 10$ с

Спортсмен рухався рівномірно, тому швидкість його руху залишалась незмінною протягом усього часу спостереження.

2. Проведемо дві взаємно перпендикулярні осі. На осі абсцис відкладемо час руху в секундах (t, с), на осі ординат — швидкість руху в метрах за секунду $\left(v, \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$ (рис. 10.6).

3. Побудуємо точки з координатами (0; 5), (2; 5), (4; 5), (6; 5), (8; 5), (10; 5). Абсциси позначених точок відповідають часу руху спортсмена, ординати — швидкості його руху.

4. З'єднаємо точки лінією. Отриманий відрізок прямої — *графік швидкості руху* велосипедиста.

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

4 З'ясовуємо, про що можна дізнатися за графіком швидкості руху тіла

Розглянемо графік швидкості руху деякого тіла (рис. 10.7, *а*) і дізнаємося про його рух якнайбільше.

1. Протягом інтервалу часу від 0 до 5 с і протягом інтервалу часу від 5 до 15 с тіло рухалось рівномірно, оскільки графік швидкості руху — відрізки прямих, які паралельні вісі часу.

2. Швидкість руху тіла протягом останніх 10 с спостереження більша, ніж протягом перших 5 с, оскільки друга ділянка графіка розташована вище від осі часу, ніж перша ділянка (рис. 10.7, *б*).

www.e-ranok.com.ua

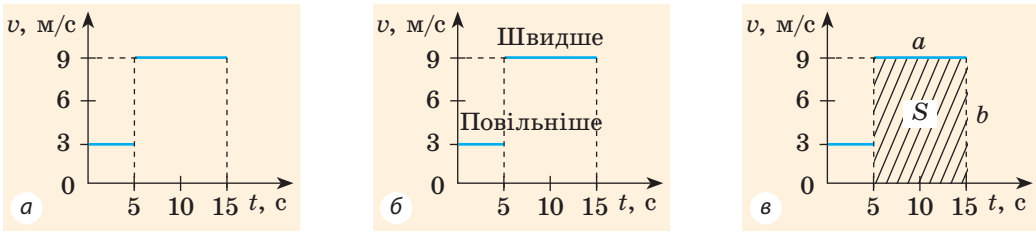


Рис. 10.7. Дослідження графіка швидкості руху тіла

У даному випадку:

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

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

3. Можна визначити шлях l, який подолало тіло (згадайте: $l = vt$). Наприклад, за інтервал часу від 5 до 15 с тіло подолало шлях 90 м:

$$l_2 = v_2 t_2 = 9\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot (15\,\text{с} - 5\,\text{с}) = 90\,\text{м}.$$

Цей шлях *чисельно* дорівнює площі заштрихованого прямокутника (рис. 10.7, *в*):

$$S = a \cdot b = 10 \cdot 9 = 90;\ l = 90\ \text{м}.$$

Зверніть увагу! Для будь-якого руху числове значення шляху, який подолало тіло, дорівнює числовому значенню площі фігури під графіком швидкості руху цього тіла.



Підбиваємо підсумки

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

За графіком шляху можна: 1) дізнатися, як рухалось тіло; 2) знайти шлях, який долало тіло за певний інтервал часу; 3) визначити та порівняти швидкості руху тіл: чим більша швидкість руху тіла, тим більший кут між графіком шляху та віссю часу.

За графіком швидкості руху можна: 1) дізнатися, як рухалось тіло; 2) знайти шлях, який долало тіло за певний інтервал часу; 3) визначити та порівняти швидкості руху тіл: чим більша швидкість руху тіла, тім вище від осі часу розташований графік швидкості руху.



Контрольні запитання

1. Який вигляд має графік шляху в разі рівномірного руху? **2.** Як за графіками шляхів двох тіл порівняти їхні швидкості руху? **3.** Який вигляд має графік швидкості рівномірного руху тіла? **4.** Як за графіками швидкостей двох тіл порівняти їхні швидкості руху? **5.** Як за графіком швидкості руху тіла визначити шлях, подоланий тілом?

www.e-ranok.com.ua

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 здобич, 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 швидкості руху зазначених тіл.

4. Розгляньте графік польоту орла (рис. 3) 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 швидкості руху орла.

5. Розгляньте графік швидкості руху тіла (рис. 4) і дізнайтесь: а) як рухалось тіло; б) якою була швидкість руху тіла на кожній ділянці; в) який шлях подолало тіло. Побудуйте графік шляху цього тіла.

6. Придумайте графічну задачу на рух із життя ваших улюблених героїв мультфільмів, розв'яжіть її та оформте на окремому аркуші.

7. Із рівняння $v = \frac{l_1 + l_2}{t}$ знайдіть:

а) v, якщо $l_1 = 15$ м, $l_2 = 20$ м, $t = 10$ с;

б) t, якщо $l_1 = 1$ км, $l_2 = 9$ км, $v = 4$ км/год;

в) l_1, якщо $l_2 = 100$ м, $t = 5$ хв, $v = 25$ м/хв.

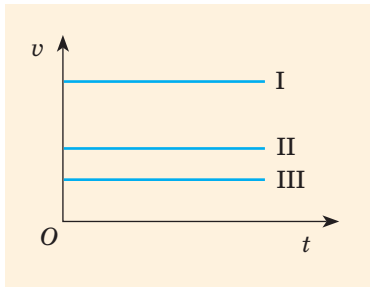


Рис. 1

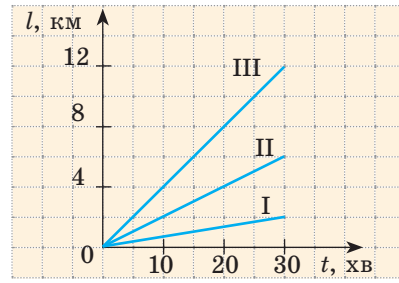


Рис. 2

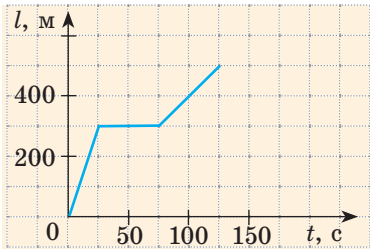


Рис. 3

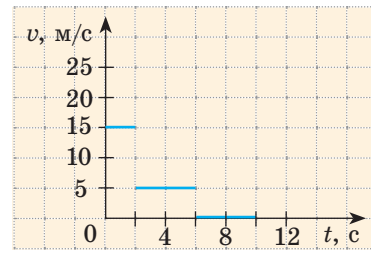


Рис. 4

www.e-ranok.com.ua

§ 11. НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

Напевне, вам траплялося їхати автобусом або потягом від 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.

1 Спостерігаємо нерівномірний рух

У повсякденному житті ми зазвичай маємо справу з *нерівномірним рухом*. Так, нерівномірним є рух автобуса (рис. 11.1) 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 долає різний шлях.

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

? Спробуйте навести приклади нерівномірного руху.

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

- за формою траєкторії — прямолінійний, криволінійний;
- за характером руху тіла — рівномірний, нерівномірний.



i **Рис. 11.1.** Автобус рухається нерівномірно, час від часу гальмуючи, зупиняючись і знову розганяючись

Види механічного руху

за формою траєкторії		за характером руху тіла	
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

www.e-ranok.com.ua



Рис. 11.2. Середня швидкість руху потяга — відношення відстані між початковою і кінцевою станціями до всього часу руху

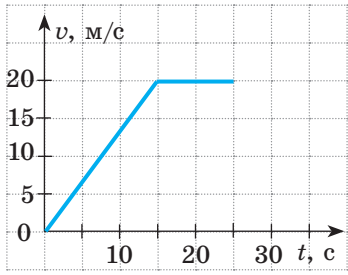


Рис. 11.3. Графік швидкості деякого тіла, що рухається нерівномірно

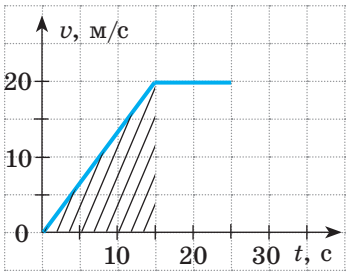


Рис. 11.4. Шлях, який подолало тіло за перші 15 с спостереження, чисельно дорівнює площі заштрихованого трикутника

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. 11.2).

Середня швидкість руху тіла $\upsilon_{сер}$ — це фізична величина, що дорівнює відношенню всього шляху l, який подолало тіло, до інтервалу часу t, за який цей шлях подолано:

$$\upsilon_{сер} = \frac{l}{t}$$

Зверніть увагу! У даному випадку t — це сума часу руху тіла та часу, витраченого на можливі зупинки в ході цього руху.

3 Аналізуємо графік швидкості нерівномірного руху тіла

Для опису нерівномірного руху тіла зручно використовувати графіки. Розглянемо графік швидкості нерівномірного руху деякого тіла (рис. 11.3). Скориставшись графіком, з'ясуємо: як рухалось тіло; який шлях подолало тіло за 25 с спостереження; якою була середня швидкість руху тіла на цьому шляху.

За графіком бачимо, що швидкість руху тіла протягом перших 15 с рівномірно збільшувалася від 0 до 20 м/с.

Для визначення шляху, який подолало тіло за цей час, згадаємо, що *числове значення шляху, який подолало тіло, дорівнює числовому значенню площі фігури під графіком швидкості руху тіла*. Отже, визначимо площу заштрихованого трикутника (рис. 11.4).

З рисунка бачимо, що площа заштрихованого трикутника становить половину площі прямокутника з «довжиною» 20 м/с і «шириною» 15 с. Площа прямокутника, у свою чергу, дорівнює добутку його довжини та ширини.

Таким чином, шлях l_1, пройдений тілом за 15 с, становить:

$$l_1 = \frac{1}{2}\left(20\ \frac{м}{с} \cdot 15\ с\right) = \frac{300\ м}{2} = 150\ м.$$

www.e-ranok.com.ua

Наступні 10 с тіло рухалось рівномірно зі швидкістю 20 м/с, тому шлях l_2, подоланий тілом за цей час, дорівнює:

$$l_2 = v \cdot t = 20\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 10\,\text{с} = 200\,\text{м}.$$

Загальний шлях l, подоланий тілом за 25 с спостереження, склав 350 м:

$$l = 150\,\text{м} + 200\,\text{м} = 350\,\text{м}.$$

Знаючи шлях і час руху тіла, визначимо середню швидкість руху тіла:

$$v_{\text{сер}} = \frac{l}{t} = \frac{350\,\text{м}}{25\,\text{с}} = 14\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

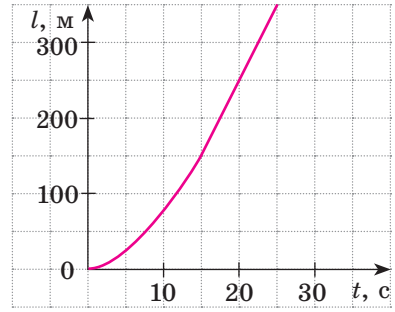


Рис. 11.5. Графік шляху деякого тіла, що рухається нерівномірно (відповідає графіку шляху, поданому на рис. 11.3)

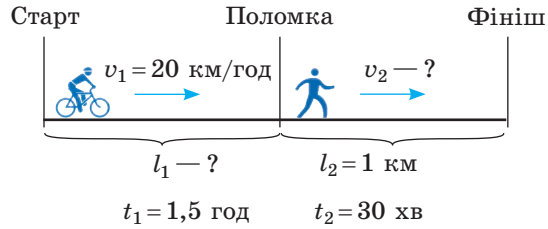
Графік шляху для цього руху наведено на рис. 11.5.

Зверніть увагу! Шлях не може зменшуватись, тому графік шляху або піднімається, або залишається горизонтальним, однак ніколи не опускається.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. 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?

Аналіз фізичної проблеми. Виконаємо пояснювальний рисунок. Для визначення 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.



Дано:

$t_1 = 1{,}5$ год

$t_2 = 0{,}5$ год

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

$l_2 = 1$ км

$v_{\text{сер}}$ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням: $v_{\text{сер}} = \frac{l}{t}$.

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: $t = t_1 + t_2$.

www.e-ranok.com.ua

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

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

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

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

Аналіз результатів. Хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 20 км/год, ішов пішки зі швидкістю $v_2 = \frac{l_2}{t_2} = 2\,\frac{\text{км}}{\text{год}}$; визначена середня швидкість його руху є меншою від 20 км/год і більшою за 2 км/год. Результат є правдоподібним.

Відповідь: $v_{\text{сер}} = 15{,}5\,\frac{\text{км}}{\text{год}}$.



Підбиваємо підсумки

Нерівномірний рух — це рух, у ході якого тіло за рівні інтервали часу долає 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 подолало тіло, до інтервалу часу, за який цей шлях подолано: $v_{\text{сер}} = \frac{l}{t}$.



Контрольні запитання

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



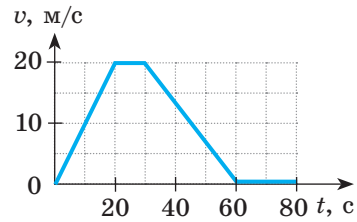
Вправа № 11

1. Наведіть приклади: а) прямолінійного рівномірного руху; б) прямолінійного нерівномірного руху; в) криволінійного рівномірного руху; г) криволінійного нерівномірного руху.

2. 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 це 0,1 год. Із якою середньою швидкістю рухався хлопчик?

www.e-ranok.com.ua

3. Потяг за 1 год пройшов 60 км. Потім він рухався ще 30 хв зі швидкістю 90 км/год. Визначте середню швидкість руху потяга.
4. За графіком шляху тіла (див. рис. 11.5) визначте середню швидкість руху тіла: а) за перші 15 с спостереження; б) за перші 20 с спостереження; в) за останні 10 с спостереження.
5. Першу половину часу польоту літак рухався зі швидкістю 600 км/год, а решту часу — зі швидкістю 800 км/год. Знайдіть середню швидкість руху літака.
6. Першу половину шляху автомобіль рухався зі швидкістю 60 км/год, а другу половину — зі швидкістю 100 км/год. Знайдіть середню швидкість руху автомобіля.
7. На рисунку зображено графік швидкості 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.

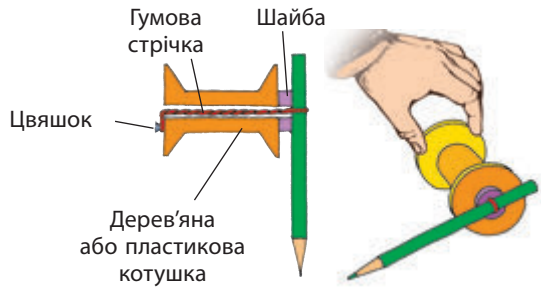


8. Знайдіть карту залізниць вашої області та розклад руху будь-якої приміської електрички. Скориставшись цими даними, визначте середні швидкості руху електрички в обох напрямках слідування; між кількома проміжними станціями.



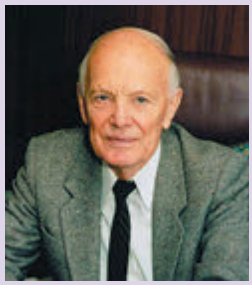
Експериментальні завдання

1. *«Мій рух»*. 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».



www.e-ranok.com.ua

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 цілком новий напрям у сучасній металургії, що здобув визнання в усьому світі.

За керівництвом Б. Є. Патона створено електрошлаковий процес для підвищення якості іржостійких сталей, започатковано зварювання в космосі. Учений запропонував і втілив 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.

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

Понад 5000 років тому жерці стародавнього Вавилону, спостерігаючи за Місяцем, визначили такий добре відомий нам інтервал часу, як тиждень. Як вони це зробили? У чому особливість руху Місяця? Чи зустрічається на Землі подібний рух? У цьому параграфі ви знайдете відповіді на ці та багато інших запитань.

1 Знайомимося з рухом по колу

Спробуйте уявити лінію, вздовж якої рухаються малюк, що кружляє на каруселі, шкарпетка в барабані пральної машини в ході віджимання, кінчик ножа блендера під час виготовлення смузі чи коктейлю. Упевнені, що ви легко визначили: цією лінією є коло. Тож у зазначених випадках маємо справу з *рухом по колу*. Найпростішим є рівномірний рух по колу. Надалі, говорячи про рівномірний рух по колу будь-якого фізичного тіла, вважатимемо це тіло матеріальною точкою.

Рівномірно по колу рухаються, наприклад, кабінки оглядового колеса. Близьким до рівномірного руху по колу є рух планет* навколо Сонця (рис. 12.1, *а*), природного супутника (Місяця) або штучних супутників навколо Землі (рис. 12.1, *б*).

Наведіть приклади руху по колу. У яких випадках цей рух можна вважати рівномірним? Чи можна вважати рух точок обода колеса велосипеда відносно його рами рівномірним рухом по колу? Обґрунтуйте свою відповідь.

* Насправді планети рухаються по еліптичних орбітах.

www.e-ranok.com.ua

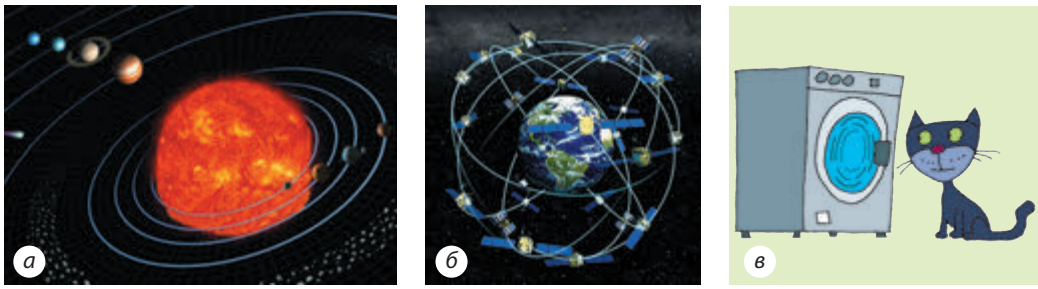


Рис. 12.1. Приклади руху по колу: *а* — рух планет навколо Сонця; *б* — рух штучних супутників навколо Землі; *в* — рух шкарпетки в барабані пральної машини під час віджимання

Рівномірний рух матеріальної точки по колу — це такий криволінійний рух, у ході якого точка, рухаючись коловою траєкторією, за будь-які рівні інтервали часу проходить однаковий шлях.

2 Визначаємо період обертання

Рівномірний рух по колу — це *періодичний рух*, тобто рух, який повторюється через певні рівні інтервали часу. Наприклад, кінчик секундної стрілки годинника, рухаючись рівномірно вздовж циферблата, повторює свій рух через кожні 60 с (рис. 12.2).

Будь-який періодичний рух характеризується такими фізичними величинами, як *період* і *частота*. У разі рівномірного руху по колу говорять про *період обертання* та *обертову частоту*.

Період обертання — це фізична величина, яка дорівнює часу, за який матеріальна точка, що рівномірно рухається по колу, здійснює один оберт.

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

$$[T] = \text{с}.$$

Період обертання дорівнює 1 с, якщо за одну секунду здійснюється один оберт.

Кінчик секундної стрілки годинника здійснює один оберт за 60 с, тому період його обертання, як і кожної точки секундної стрілки, дорівнює 60 с $(T = 60\ \text{с})$.

Поміркуйте, якими є періоди обертання точок хвилинної та годинної стрілок годинника.

Коли збивають молочний коктейль блендером, кожна точка його ножа за 30 с робить 6000 обертів (рис. 12.3). Зрозуміло: щоб визначити *час одного оберту*, слід час обертання ($t = 30$ с) поділити на кількість обертів за



Рис. 12.2. Рух точок на стрілках годинника — періодичний рух

www.e-ranok.com.ua

цей час ($N = 6000$): $T = \frac{30\text{ с}}{6000} = 0{,}005\text{ с} = 5\text{ мс}$. Тобто період обертання T точок ножа блендера становить 5 мс.

Таким чином, щоб визначити період обертання ***T****, слід підрахувати кількість обертів* ***N****, здійснених за інтервал часу* ***t****, і скористатися формулою:*

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

3 Визначаємо обертову частоту

Зазначаючи технічні характеристики пристроїв, використовують не період обертання, а обертову частоту (рис. 12.4).

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

Обертову частоту позначають символом n і визначають за формулою:

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

де t — час обертання; N — кількість обертів, здійснених за цей час.

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

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

Зважаючи на те що $T = \frac{t}{N}$, а $n = \frac{N}{t}$, доходимо висновку, що період обертання й обертова частота є взаємно оберненими величинами:

$$n = \frac{1}{T};\ T = \frac{1}{n}$$

Чим більшим є період обертання тіла, тим меншою є його обертова частота, і навпаки.

Сподіваємось, що ви без зусиль зможете визначити частоту, з якою обертаються точки ножа блендера (див. рис. 12.3).



Рис. 12.3. Точки ножа блендера за хвилину роблять 12 тисяч обертів



Рис. 12.4. Обертова частота кулерів сучасних процесорів становить 50–60 обертів за секунду

www.e-ranok.com.ua

4 Дізнаємося, як виникли одиниці часу: доба і тиждень

Як виміряти час? Відповідь на це запитання підказала людям сама природа. Річ у тім, що багато рухів, які відбуваються в природі, є періодичними, а період такого руху може слугувати одиницею часу. Наприклад, обертання Землі навколо своєї осі — періодичний рух. Щоденний схід (захід) Сонця, зумовлений цим рухом, підказав нашим прадавнім предкам природну одиницю часу — *добу*, яка дорівнює періоду обертання Землі навколо своєї осі.

Кілька одиниць часу було винайдено в стародавньому Вавилоні. Спостерігаючи за нічним небом, жерці помітили, що «молодий» Місяць з'являється на небосхилі приблизно кожні 28 діб. Періодичне народження місячного диска слугувало своєрідним вічним «годинником». Так виникла одиниця часу *місяць**. За цей час Місяць, обертаючись навколо Землі, проходить повний цикл зміни фаз: молодик, перша чверть, повня, остання чверть (рис. 12.5). Саме тому жерці розділили місячний місяць на чотири (за кількістю місячних фаз) й отримали сім днів — одиницю часу, яку називають *тиждень*.

5 Визначаємо швидкість рівномірного руху по колу

Окрім періоду обертання та обертової частоти важливою характеристикою руху по колу є швидкість руху. Якщо тіло рівномірно рухається по колу, то *за час, який дорівнює періоду обертання* $(t = T)$, *тіло робить один оберт*, тобто *долає шлях, який дорівнює довжині кола*. Довжину кола l можна обчислити за відомою вам з математики формулою: $l = 2\pi R$, де $\pi = 3{,}14$ — математична константа; R — радіус кола.

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

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



Рис. 12.5. У прадавні часи початок і кінець місяця визначали за фазами Місяця (Зображення Місяця на зовнішньому колі — це те, яким ми бачимо Місяць із Землі.)

* Зараз у повсякденному житті ми використовуємо поняття *календарного місяця*, який не залежить від фаз Місяця і триває від 28 до 31 доби.

Саме про цю швидкість ідеться, коли, наприклад, визначають швидкість руху людини, яка кружляє на каруселі, характеризують рух автомобіля на повороті, говорять про швидкість польоту штучних супутників Землі тощо.



Підбиваємо підсумки

Рівномірний рух матеріальної точки по колу — це такий криволінійний рух, у ході якого точка, рухаючись коловою траєкторією, за будь-які рівні інтервали часу проходить однаковий шлях. Рівномірний рух по колу — це періодичний рух, тобто рух, який повторюється через певні однакові інтервали часу.

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

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



Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним рухом по колу? **2.** Який рух вважають періодичним? Чому рівномірний рух по колу є періодичним? **3.** Які фізичні величини характеризують періодичний рух? **4.** Дайте означення періоду обертання. **5.** Як визначити період обертання? **6.** Дайте означення обертової частоти. **7.** Як визначити обертову частоту, якщо відомий період обертання? **8.** Спостереження за яким процесом спричинило появу таких одиниць часу, як місяць і тиждень?



Вправа № 12

1. За 18 секунд колесо автомобіля здійснило 24 оберти. Визначте період обертання точки на ободі колеса.

2. Якою є обертова частота точок патрона електродриля, якщо за хвилину патрон здійснює 900 обертів?

3. Уявіть, що на лопать вимкненого вентилятора наклеїли маленьку наліпку зі смайликом. З якою частотою буде обертатися смайлик, якщо лопаті вентилятора здійснюватимуть один оберт за 0,2 с?

4. Відомо, що вентилятор мікропроцесора персонального комп'ютера обертається з частотою 3600 об/хв. Яким є період обертання точок лопатей вентилятора?

5. Учень катався на каруселі 5 хв. За цей час він здійснив 100 обертів. У якому випадку можна стверджувати, що період обертання учня дорівнював 3 с? Відповідь обґрунтуйте.

www.e-ranok.com.ua

***6.** Чотири шестерні скріплені зубцями так, як показано на рис. 1. Шестірня *1* має 9 зубців, шестірня *2* — 15 зубців, шестірня *3* — 8 зубців, шестірня *4* — 16 зубців. Шестерні *2* і *3* закріплені на спільному валу. Визначте період обертання шестірні *4*, якщо частота обертання шестірні *1* дорівнює 5 об/с.

***7.** Швидкість руху диска «болгарки» (рис. 2) в точці дотику з поверхнею, яку обробляють, повинна бути не меншою ніж 80 м/с. Якими за такої швидкості будуть обертова частота і період обертання диска, якщо його діаметр дорівнює 160 мм?

***8.** Скориставшись 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.



9. Визначте довжину колової орбіти штучного супутника Землі (рис. 3), якщо він обертається на відстані 300 км від поверхні Землі. Вважайте, що радіус Землі дорівнює 6400 км.

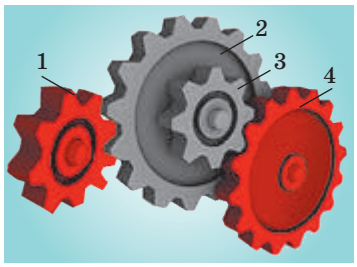


Рис. 1



Рис. 2

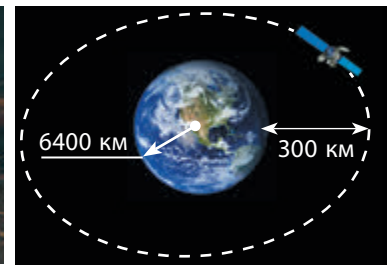


Рис. 3



Експериментальне завдання

«Обертання в побуті». Разом із дорослими визначте період обертання та обертову частоту склянки з рідиною, що підігрівається у НВЧ-печі. Які вимірювання ви здійснили, щоб виконати завдання? Який висновок щодо технічних характеристик зазначеного пристрою можна зробити, спираючись на результати вашого експерименту? *****Дізнайтесь, із якою швидкістю оберталася склянка в НВЧ-печі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема. Вимірювання періоду обертання та обертової частоти.

Мета: виміряти період обертання та обертову частоту тіла під час його рівномірного руху по колу.

Обладнання: пластикова кулька або інше невелике тіло (ґудзик, ключ, тягарець тощо), яке можна легко закріпити на нитці; аркуш паперу із зображенням кола радіуса 15 см; міцна нерозтяжна нитка завдовжки 50–60 см; секундомір; лінійка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

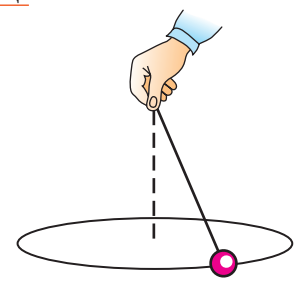
Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
   1) Який рух називають рівномірним рухом по колу?
   2) За якою формулою обчислюють період рівномірного руху тіла по колу? За якою формулою обчислюють обертову частоту?
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

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Візьміть за петлю нитку з тілом. Розташуйте руку над центром зображеного кола. Не змінюючи положення руки, примусьте тіло рухатися так, щоб траєкторія його руху збігалася з колом. Старайтесь не змінювати швидкість руху тіла.
2. Виміряйте час t, за який тіло здійснює 10 обертів.



Час руху t, с	Кількість обертів N	Період обертання T, с	Обертова частота n, об/с

Опрацювання результатів експерименту

Визначте період обертання та обертову частоту тіла під час його рівномірного руху по колу. Результати занесіть до таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) який рух ви вивчали; 2) значення яких величин визначали; 3) які результати отримали; 4) які чинники впливали на точність результатів.

Творче завдання

У погано освітленому приміщенні завдяки особливостям зору людина може ідентифікувати події як різні, якщо інтервал часу між ними більший за 0,2–0,3 с. З якою частотою потрібно рухати по колу «бенгальський вогонь», щоб побачити світне кільце?

Завдання «із зірочкою»

Запишіть результати вимірювання періоду обертання тіла у вигляді: $T = T_{вим} \pm \Delta T$. Вважайте, що $\Delta t = 0{,}2$ с, а $\Delta T < \Delta t$ у стільки разів, скільки обертів виконало тіло.

www.e-ranok.com.ua

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

Ще в давнину люди, спостерігаючи за Сонцем і Місяцем, визначили одиниці часу: рік, місяць, добу та ін. Був створений сонячний годинник, потім з'явилися водяний, вогневий і пісковий годинники. Проте справжня революція в конструкції годинників відбулася після з'ясування властивостей коливального руху. А от яких саме властивостей — дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Знайомимося з коливальним рухом

Підвісимо тягарець на нитку, відхилимо його від *положення рівноваги* і відпустимо. Тягарець почне *коливатися*, тобто рухатися від одного крайнього положення до іншого, повторюючи свій рух через певний інтервал часу. Таким чином, коливальний рух має важливу спільну рису з рівномірним рухом по колу: обидва рухи є періодичними (рис. 13.1).

2 Вивчаємо маятники

Тягарець, що коливається на нитці або на пружині, — це приклад найпростішого *маятника*.

Маятник — це тверде тіло, яке здійснює коливання внаслідок притягання до Землі або внаслідок дії пружини.

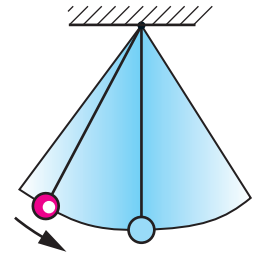


Рис. 13.1. Коливальний рух — це періодичний рух

Маятники використовують у багатьох фізичних приладах. Особливо важливим є використання маятників у годинниках: періодичність коливань дає можливість здійснювати відлік часу.

Маятники, в яких тіло коливається завдяки дії пружини, називають *пружинними маятниками* (рис. 13.2). Коливання пружинного маятника залежать від властивостей пружини і маси тіла.

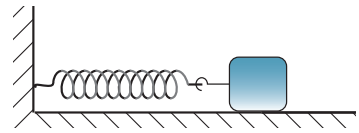


Рис. 13.2. Приклад найпростішого пружинного маятника

Маятники, які коливаються завдяки притяганню до Землі, називають *фізичними маятниками* (рис. 13.3). Їх коливання є доволі складними, адже залежать від маси, геометричних розмірів, форми маятника тощо.

Щоб розміри і форма 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.

www.e-ranok.com.ua





Рис. 13.3. Приклади фізичних маятників

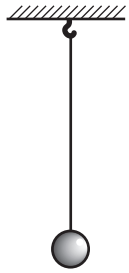


Рис. 13.4. Металева кулька на довгій нерозтяжній нитці є досить зручною для вивчення основних властивостей коливань

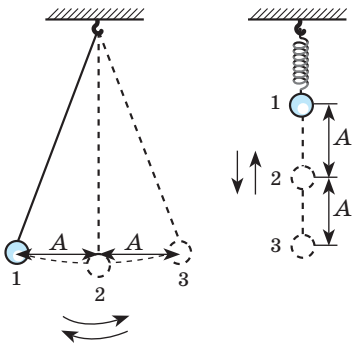


Рис. 13.5. Рух кульки від положення *1* до положення *3* (через положення *2*), а потім знову до положення *1* — це одне коливання; A — амплітуда коливань

Невелика металева кулька діаметром 1–2 см, підвішена на тонкій нерозтяжній нитці завдовжки 1–2 м, цілком може слугувати за маятник, на коливання якого не впливатимуть розміри, маса тіла та властивості нитки (рис. 13.4)*.

3 Дізнаємося про амплітуду коливань

Спостерігаючи за коливаннями маятника, неважко побачити, що є певна максимальна відстань, на яку тіло, що коливається, віддаляється від положення рівноваги. Цю відстань називають *амплітудою коливань* (рис. 13.5).

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 коливання* тіло проходить шлях l_0, який приблизно дорівнює чотирьом амплітудам: $l_0 = 4A$**.

4 Визначаємо період і частоту коливань

Коливальний рух є періодичним рухом, тому він характеризується такими фізичними величинами, як *період коливань* і *частота коливань*.

* У цьому випадку довжина нитки вважається також *довжиною маятника*.

** У випадку з нитяним маятником ця рівність є приблизною, оскільки тіло рухається по дузі кола, довжина якої більша за відстань, яку називають амплітудою коливань. Але якщо амплітуда коливань є малою (набагато меншою від довжини маятника), цією різницею зазвичай нехтують.

www.e-ranok.com.ua

Період коливань — це фізична величина, що дорівнює часу, за який відбувається одне коливання.

Період коливань, як і період рівномірного руху по колу, позначають символом T і обчислюють за формулою:

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

де t — час спостереження; N — кількість коливань за цей час.

Одиниця періоду коливань в СІ — **секунда**: $[T] = \text{с}$.

Частота коливань — це фізична величина, яка дорівнює кількості коливань за одиницю часу.

Частоту коливань позначають символом ν («ню») і обчислюють за формулою:

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

Одиниця частоти коливань в СІ — **герц** (Гц) (названа на честь *Генріха Герца* (рис. 13.6)).

Якщо тіло за одну секунду робить одне коливання, то частота його коливань дорівнює одному герцу: $1\,\text{Гц} = \frac{1}{\text{с}}$.



Рис. 13.6. Генріх Рудольф Герц (1857–1894) — німецький фізик, один із засновників теорії електричних коливань

Частота ν і період T коливань є взаємно оберненими величинами:

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

Маятники мають дуже важливу властивість: *якщо амплітуда коливань маятника набагато менша від його довжини, то частота і період коливань маятника не залежать від амплітуди.*

Цю властивість малих коливань відкрив *Ґалілео Ґалілей**, і саме вона покладена в основу роботи механічних годинників.

5 Розрізняємо затухаючі і незатухаючі коливання

Виведемо гойдалку зі стану рівноваги та відпустимо. Гойдалка почне коливатися. Такі коливання називають **вільними**.

Якщо на гойдалку не впливати, то через деякий час амплітуда її коливань помітно зменшиться, а згодом коливання припиняться зовсім.

Коливання, амплітуда яких із часом зменшується, називають **затухаючими коливаннями**.

* Ґалілео Ґалілей зробив це відкриття, спостерігаючи в храмі коливання лампади, підвішеної на ланцюзі, і порівнюючи частоту цих коливань із частотою биття власного пульсу.

www.e-ranok.com.ua

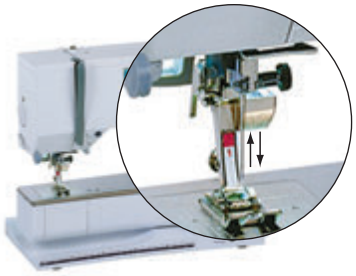


Рис. 13.7. Коливання голки швацької машинки — приклад незатухаючих коливань

Вільні коливання завжди є затухаючими. Затухають із плином часу вільні коливання било дзвона, струни гітари, гілки дерева...

Що слід зробити, щоб амплітуда коливань гойдалки з часом не зменшувалась, тобто щоб її коливання були незатухаючими?

Незатухаючі коливання — це коливання, амплітуда яких не змінюється з часом.

Незатухаючі коливання здійснює, наприклад, голка швацької машинки, доки працює її механізм (рис. 13.7).

6 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 коливань. Яку відстань пройде кулька за 36 с, якщо амплітуда коливань — 5 см? Коливання вважайте незатухаючими.

Аналіз фізичної проблеми. Амплітуда коливань набагато менша від довжини нитки, тому можна вважати, що за одне коливання кулька проходить шлях, який дорівнює чотирьом амплітудам ($4A$).

Якщо визначити кількість коливань за 36 с, то можна знайти відстань, яку подолала кулька. Кількість коливань знайдемо, визначивши час одного коливання, тобто період коливань.

Задачу розв'язуватимемо в поданих одиницях.

Дано:
$t_1 = 30$ с
$N_1 = 15$
$t_2 = 36$ с
$A = 5$ см

Знайти:
l — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Знайдемо період коливань: $T = \frac{t_1}{N_1} = \frac{30\text{ с}}{15} = 2$ с.

Знайдемо кількість 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 коливання: $l_0 = 4A = 4 \cdot 5\text{ см} = 20$ см.

Визначимо шлях, який подолає кулька за 36 с:
$l = N_2 \cdot l_0 = 18 \cdot 20\text{ см} = 360\text{ см} = 3{,}6$ м.

Аналіз результатів. За одне коливання кулька проходить 20 см; час коливань більший за період коливань, тому пройдена кулькою відстань буде більшою за 20 см. Отже, результат є правдоподібним.

Відповідь: $l = 3{,}6$ м.

Підбиваємо підсумки

Коливальний рух (коливання) є періодичним рухом. Розрізняють затухаючі і незатухаючі коливання.

www.e-ranok.com.ua

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 коливання: $T = \frac{t}{N}$. Одиниця періоду коливань в СІ — секунда (с).

Частота ν коливань — це фізична величина, яка дорівнює кількості коливань за одиницю часу: $\nu = \frac{N}{t}$. Одиниця частоти коливань в СІ — герц (Гц).

Частота і період коливань є взаємно оберненими величинами: $\nu = \frac{1}{T}$.



Контрольні запитання

1. Чому коливальний рух є періодичним? **2.** Наведіть приклади коливань. **3.** Наведіть приклади маятників. **4.** Дайте означення амплітуди, періоду, частоти коливань. У яких одиницях вимірюють ці фізичні величини? **5.** Яка залежність пов'язує між собою частоту і період коливань? **6.** Які коливання називають затухаючими? незатухаючими?



Вправа № 13

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 його коливань становить 4 Гц?
5. Наведіть не згадані в параграфі приклади коливальних рухів. З'ясуйте, які це коливання: затухаючі або незатухаючі.
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. «Котра година?» — це питання ставлять протягом багатьох століть. Щоб відповісти на нього, існувало й зараз існує багато пристроїв. Один з них — маятниковий годинник. Дізнайтесь про історію його створення і підготуйте повідомлення.



Експериментальне завдання

«Резонанс». Прив'яжіть до невеликого важкого тіла нитку завдовжки 45–50 см. Однією рукою візьміть нитку за вільний кінець, а другою відхиліть тіло від положення рівноваги. Маятник почне коливатися. Визначте частоту його вільних коливань.



Зупиніть маятник. Потім почніть дуже повільно рухати рукою з маятником з одного боку в інший (див. рисунок). Слідкуйте, щоб

www.e-ranok.com.ua

амплітуда коливань руки не змінювалась; руку достатньо переміщувати на 1–2 см. Поступово збільшуйте частоту коливань руки і спостерігайте за маятником. «Спіймайте» такий момент, коли маятник розгойдається дуже сильно, тобто виникне *резонанс*. Визначте частоту коливань руки в той момент, коли амплітуда коливань маятника є найбільшою. Дізнайтеся, за якої умови настає резонанс, порівнявши знайдені значення частоти вільних коливань маятника і частоти коливань руки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема. Дослідження коливань нитяного маятника.

Мета: визначити амплітуду і період коливань нитяного маятника; переконатися на досліді, що період коливань маятника не залежить від амплітуди його коливань і маси тягарця, проте залежить від довжини нитки.

Обладнання: дві невеличкі важкі кульки відомих мас; дві міцні нерозтяжні нитки завдовжки 1,05–1,1 м; лінійка (мірна стрічка); штатив із муфтою та кільцем; секундомір.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

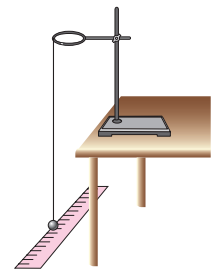
Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
   1) Що називають амплітудою коливань?
   2) За якою формулою можна обчислити період коливань?
2. Визначте ціну поділки шкали лінійки.
3. Запишіть значення мас кульок до табл. 2.
4. Закріпіть кульки на нитках.

Експеримент. Опрацювання результатів експерименту

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

1. Установіть на краю стола штатив. Біля його верхнього кінця закріпіть за допомогою муфти кільце й підвісьте до нього одну з кульок на нитці так, щоб довжина одержаного маятника становила 1 м. Пересуваючи муфту вздовж штатива, установіть її на такій висоті, щоб кулька була на відстані 3–5 см від розташованої на підлозі лінійки (див. рисунок).



2. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від його амплітуди. Для цього:
   1) відхиливши маятник на відстань 2–3 см від положення рівноваги і відпустивши, виміряйте час, за який маятник виконає 20 коливань; визначте період коливань;
   2) повторіть дослід, збільшивши амплітуду коливань до 5–6 см;
   3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 1.

www.e-ranok.com.ua

Таблиця 1

Номер досліду	Довжина нитки l, м	Амплітуда коливань A, м	Число коливань N	Час коливань t, с	Період коливань T, с
1	1				
2	1				

3. 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 другого маятника (іншої маси); амплітуда коливань має становити 2–3 см. *Зверніть увагу:* довжини першого та другого маятників мають бути однаковими.

3) результати вимірювань і 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
1	1				
3	1				

4. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від його довжини. Для цього:

1) перенесіть із табл. 1 до табл. 3 результати досліду № 1;

2) повторіть дослід, зменшивши довжину першого маятника до 25 см; амплітуда коливань має становити 2–3 см;

3) результати вимірювань і обчислень занесіть до табл. 3.

Таблиця 3

Номер досліду	Довжина нитки l, м	Число коливань N	Час коливань t, с	Період коливань T, с
1	1			
4	0,25			

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) які величини ви навчилися вимірювати; 2) які чинники вплинули на точність одержаних результатів; 3) чи залежить період коливань маятника від амплітуди коливань, маси тягарця, довжини маятника.

Творче завдання

Не виконуючи вимірювань, визначте період коливань маятника завдовжки 4 м, амплітуда коливань якого 10 см, а маса — 300 г. Вважайте, що маятник розташований у тому самому кабінеті, де ви виконували лабораторну роботу. Свою відповідь обґрунтуйте.

www.e-ranok.com.ua

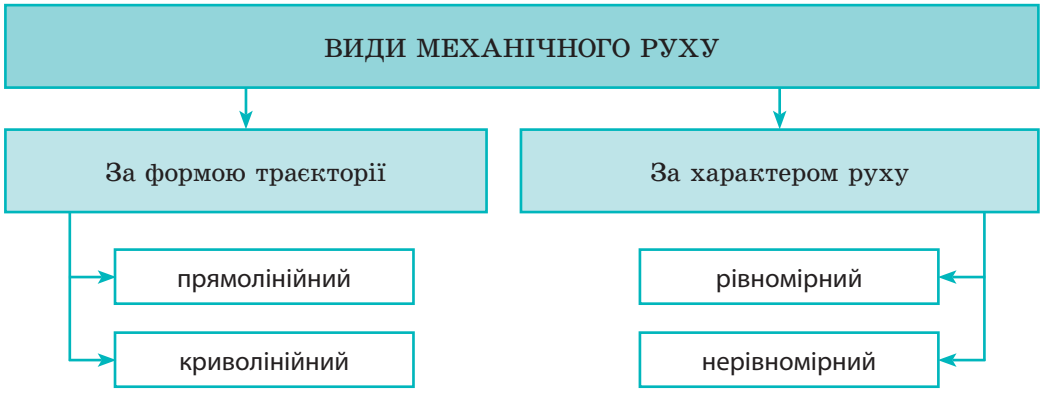
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «Механічний рух»

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 із деякими *основними поняттями механіки*.

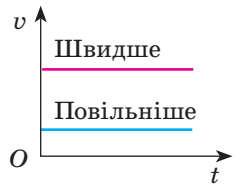
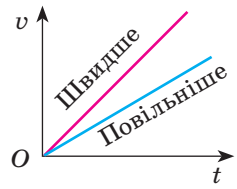
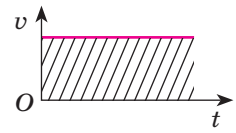


2. Ви навчилися розрізняти *види механічного руху*.



www.e-ranok.com.ua

3. Ви навчилися досліджувати рівномірний рух за допомогою *графіків шляху та графіків швидкості руху*.

Графік швидкості руху	Графік шляху	Зв'язок між графіком швидкості руху і шляхом
		 Шлях чисельно дорівнює площі фігури під графіком швидкості руху

4. Ви дослідили деякі *механічні рухи*.

Форма траєкторії	Фізичні величини, які характеризують механічний рух		
	шлях l $[l]=$м	час руху t $[t]=$с	швидкість руху v $[v]=$м/с
Рівномірний рух			
Будь-яка лінія	$l=vt$	$t=\frac{l}{v}$	$v=\frac{l}{t}$
Рівномірний прямолінійний рух			
Пряма лінія	$l=s=vt$	$t=\frac{l}{v}=\frac{s}{v}$	$v=\frac{l}{t}=\frac{s}{t}$
Нерівномірний рух			
Будь-яка лінія	$l=l_1+l_2+\ldots+l_n$	$t=t_1+t_2+\ldots+t_n$	$v=\frac{l}{t}=\frac{l_1+l_2+\ldots+l_n}{t_1+t_2+\ldots+t_n}$

Форма траєкторії	Фізичні величини, які характеризують механічний рух		
	період T $[T]=$с	частота n або ν $[n]=$об/с; $[\nu]=$Гц	шлях за період l $[l]=$м
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
Коливальний рух			
Відрізок прямої, дуга кола	$T=\frac{t}{N}$, $T=\frac{1}{n}$	$v=\frac{N}{t}$, $v=\frac{1}{T}$	$l_0=4A$, де A — амплітуда коливань

www.e-ranok.com.ua

Завдання для самоперевірки до розділу 2 «Механічний рух»

У завданнях 1–9 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 рівномірного руху — це фізична величина, яка дорівнює:
а) добутку шляху, який подолало тіло, і часу руху;
б) відношенню часу руху до шляху, який подолало тіло;
в) половині суми початкової та кінцевої швидкостей руху;
г) відношенню шляху, який подолало тіло, до часу руху.

3. *(1 бал)* Обертова частота — це фізична величина, яка чисельно дорівнює:
а) часу одного оберту;
б) кількості обертів за одиницю часу;
в) кількості обертів за весь час руху;
г) часу, за який тіло здійснює 10 обертів.

4. *(1 бал)* Період малих коливань нитяного маятника:
а) залежить від довжини нитки;
б) залежить від маси тягарця;
в) залежить від амплітуди коливань;
г) не залежить від земного тяжіння.

5. *(2 бали)* Космічний корабель протягом 20 с рухався зі швидкістю 10 000 м/с. Яку відстань подолав корабель за цей час?
а) 5 км; б) 20 км; в) 200 км; г) 500 км.

6. *(2 бали)* Потяг рухався із середньою швидкістю 40 м/с. Скільки часу тривала подорож між двома містами, якщо відстань між ними 624 км?
а) 1 год 34 хв; б) 4,2 год; в) 4 год 20 хв; г) 15,6 год.

7. *(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.

8. *(2 бали)* Частота коливань нитяного маятника дорівнює 2 Гц. Скільки коливань здійснює цей маятник за 1 хв?
а) 0,5; б) 2; в) 30; г) 120.

9. *(3 бали)* Півгодини хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 24 км/год, а потім ішов пішки 6 км зі швидкістю 4 км/год. Визначте середню швидкість руху хлопчика.
а) 9 км/год; б) 14 км/год; в) 20 км/год; г) 28 км/год.

www.e-ranok.com.ua

10. *(3 бали)* За графіком залежності шляху від часу для рівномірного руху (рис. 1) визначте швидкість руху тіла. Відповідь подайте в м/с і км/год.

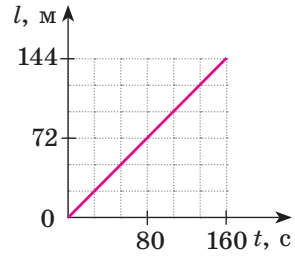


Рис. 1

11. (*3 бали*) У кают-компанії судна, яке здійснює морську подорож у 250 км, розташований годинник. Скільки коливань здійснить маятник годинника за час подорожі, якщо період його коливань дорівнює 0,5 с, а середня швидкість руху судна — 10 м/с?

12. *(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?

13. (*4 бали*) Використовуючи дані рис. 2, визначте, через який час зустрінуться автомобілі.

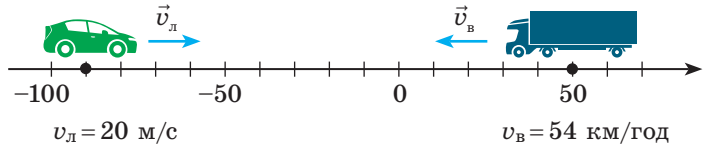


Рис. 2

14. (*4 бали*) На рис. 3 наведено графік швидкості руху автомобіля. Визначте максимальну швидкість руху автомобіля та весь шлях, що він подолав.

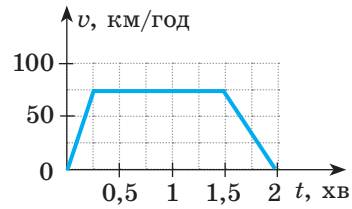


Рис. 3

15. (*5 балів*) Автомобіль подолав 400 км. Відомо, що першу половину всього часу руху він рухався зі швидкістю 90 км/год, а за другу половину часу руху проїхав 175 км. Якою була швидкість руху автомобіля на другій ділянці шляху? Визначте середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху. Рух автомобіля на обох ділянках вважайте рівномірним.

Звірте ваші відповіді 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».

www.e-ranok.com.ua

Космодром на екваторі

Практично всі технічні новинки, що з'явилися за останні сто років, створено за такою схемою: *етап 1 — учені відкривають новий ефект (явище); етап 2 — іженери-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.



Космічні кораблі виводитиме на орбіту ракета-носій «Циклон-4»

Згадайте ваші ігри на дитячій каруселі: ви розганяєте карусель і застрибуєте на неї. При цьому найскладніше втримуватися на краю каруселі, що швидко обертається, — «невідома сила» намагається скинути вас. Саме цей фізичний ефект використовують спортсмени — метальники 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 ефекті ґрунтується дія пращі — давньої метальної зброї.

www.e-ranok.com.ua

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 Ґвіані, безпосередньо поблизу екватора. А що ж робити тим країнам, які розташовані в середніх широтах, наприклад Україні?



Місце розташування бразильського космодрому Алкантара

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?

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 зі дна морів. Як ракета-носій у проекті «Сі-Лонч» була використана українська ракета «Зеніт» — одна з найкращих у світі. У рамках проекту було здійснено 36 пусків.

Українські фахівці одночасно з участю в «Морському старті» працювали в 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 була ракета-носій. 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 серед технічних пристроїв. Порівняння.
5. Історія рекордів швидкості на суднах.
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 й техніці.
12. Роль маятника у вивченні фізичних властивостей Землі.

Теми експериментальних досліджень

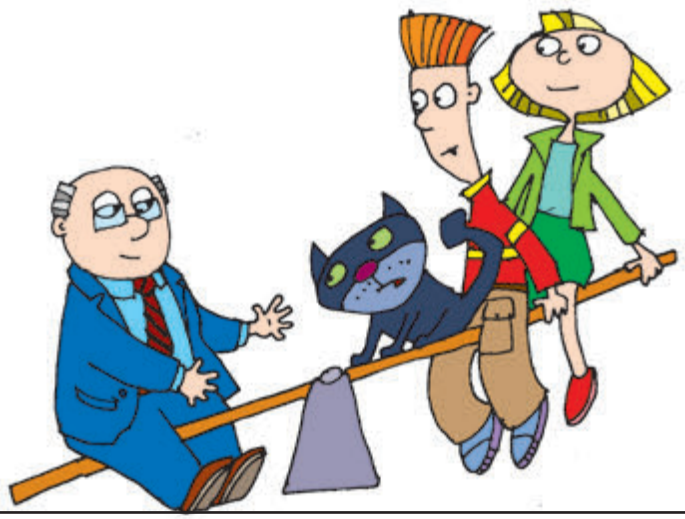
1. Вимірювання часу реакції людини.
2. Визначення середньої швидкості руху людини під час прогулянки.
3. Визначення середньої швидкості польоту м'яча.
4. Побудова графіків механічного руху паперового літачка та визначення середньої швидкості його руху.
5. Коливальні процеси в живій природі.
6. Коливальні процеси в техніці.
7. Коливальні процеси в неживій природі.

www.e-ranok.com.ua

РОЗДІЛ 3

ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА

- Ви вмієте вимірювати масу тіла, а навчитеся вимірювати 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 І. **СИЛА. ВИДИ СИЛ**

§ 14. 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 їх виникнення? Чи потрібне взагалі щось, щоб підтримувати рух? Чому швидкість руху одних тіл змінюється, а інших — залишається незмінною? Спробуємо відповісти на ці запитання.

1 Переконуємося в тому, що тіла взаємодіють

У повсякденному житті ми постійно маємо справу з різними видами дії одних тіл на інші. Щоб відчинити двері, ми діємо на них рукою; завдяки дії ноги м'яч летить у ворота; сідаючи на стілець, ми діємо на нього.

Водночас, відчиняючи двері, ми відчуваємо їхню дію на 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* (рис. 14.1).

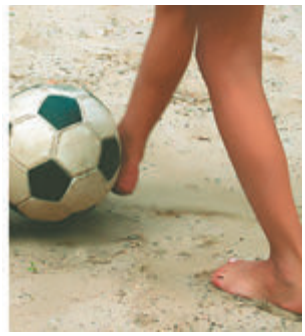
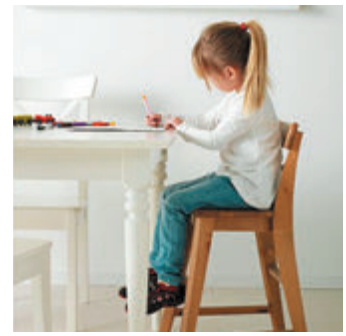




Рис. 14.1. Приклади взаємодії тіл



Рис. 14.2. Дія завжди є взаємодією: хто б не тягнув за мотузку, рухатимуться і хлопчик, і дівчинка

Проведіть дослід. Стоячи з товаришем на скейтах, потягніть за мотузку, яку він триматиме в руках. Хто з вас почне рухатися? Прокоментуйте результат досліду за рис. 14.2.

2 З'ясовуємо, 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: внаслідок взаємодії з рукою м'яч

www.e-ranok.com.ua



Рис. 14.3. М'яч перебуває в стані спокою, оскільки дія Землі скомпенсована дією підлоги



Рис. 14.4. Люстра перебуває в стані спокою, оскільки дія Землі скомпенсована дією підвісу



Рис. 14.5. Із життєвого досвіду знаємо: щоб візок рухався з незмінною швидкістю, хтось має його штовхати

почне рух. А чи взаємодіяв 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 почне рухатися. 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. 14.3, 14.4).

3 Дізнаємося, за яких умов тіло рухається рівномірно прямолінійно

Понад 2500 років тому давньогрецький філософ *Аристотель*, розмірковуючи про причини руху тіл, дійшов начебто правильного з точки зору життєвого досвіду, але хибного з погляду фізики висновку: для підтримування руху тіла потрібна постійна дія на нього інших тіл (рис. 14.5). Але наприкінці XVI ст. видатний італійський учений *Ґалілео Ґалілей*, провівши досліди зі скочуванням кульок похилим жолобом та здійснивши *уявний експеримент** (рис. 14.6), визначив, що ідеї Аристотеля не можуть правильно пояснити причини руху тіл.

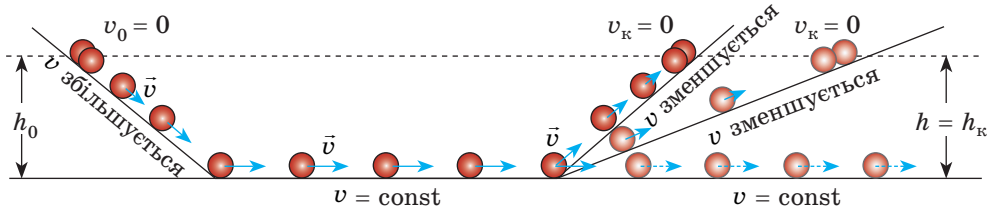


Рис. 14.6. Уявний експеримент Ґалілея. Коли кулька скочується жолобом униз, вона набирає швидкість; коли закочується вгору, сповільнює свій рух. Ґалілей поставив запитання: «Як буде рухатися кулька горизонтальним гладеньким жолобом, коли руху нічого не заважатиме?». Відповідь була несподіваною: кулька рухатиметься з незмінною швидкістю як завгодно довго

* Експеримент, що проводиться у вигляді міркувань, у фізиці називають *уявним експериментом*. Уявні експерименти дають змогу обґрунтовувати здогадки, що підтверджуються або спростовуються подальшими реальними експериментами.

www.e-ranok.com.ua

Здійснимо уявний експеримент і ми. Уявіть хлопчика, який мчить довжелезною горизонтальною ковзанкою (рис. 14.7). Якщо його ніхто не штовхає і не тягне, то, як підказує наш досвід, урешті-решт він має зупинитися. При цьому час руху хлопчика буде залежати від зовнішніх умов. Якщо, наприклад, на льоду є намерзлий сніг, то хлопчик проїде лише 2–3 м; якщо лід гладенький, не є межею і 20 м; а якщо хлопчик стане на ковзани, він може «пролетіти» й сотню метрів.

Розмірковуємо далі. Уявіть, що «гальмування» немає зовсім, а хлопчик 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 лат. *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.**

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 є доволі слабкою і до помітної зміни швидкості свого руху тіло проходить значний шлях (рис. 14.8).



Рис. 14.7. Чи зупиниться хлопчик, якщо ніщо не заважатиме його рухові?



Рис. 14.8. Ковзання шайби по льоду після удару ключкою можна вважати рухом за інерцією

www.e-ranok.com.ua

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, рухаючись на велосипеді, ви припинете обертати педалі і ваша дія не скомпенсує опір руху велосипеда з боку дороги та інших тіл?

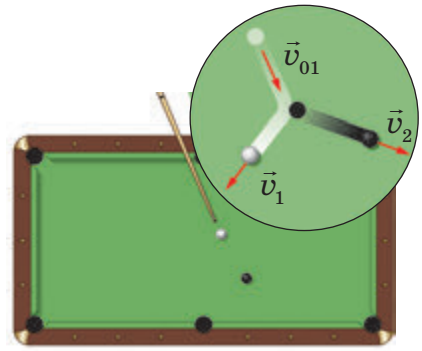


Рис. 14.9. Більярдні кулі внаслідок зіткнення змінюють швидкості свого руху як за значенням, так і за напрямком

У цих та багатьох інших випадках *тіла змінюють швидкість свого руху*: більярдні кулі полетять у різні боки з різними швидкостями (рис. 14.9); тягарець почне падати з дедалі більшою швидкістю; ви на велосипеді станете рухатися повільніше і врешті-решт зупинитеся.

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**.

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 у стані спокою? рухається рівномірно прямолінійно? **3.** Як рухається тіло, якщо на нього не діють інші тіла? **4.** Дайте означення інерції. **5.** Що відбувається з тілом, коли дії на нього інших тіл не скомпенсовані?

* Зауважимо, що внаслідок взаємодії тіла можуть не тільки змінити швидкість свого руху, а й деформуватися, тобто змінити свої розміри та форму. Докладніше про деформацію тіл ви дізнаєтесь у § 19.

www.e-ranok.com.ua

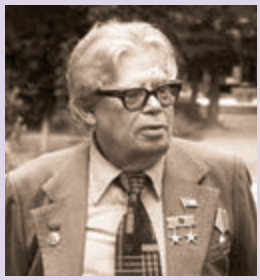
Вправа № 14

1. Ви сидите на стільці — і ви, і стілець перебувають у 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. Що діє на бульбашку? Чи будуть ці дії скомпенсованими?
3. За яких умов візок (див. рис. 14.5) рухається рівномірно прямолінійно? збільшує швидкість руху? зменшує швидкість руху?
4. Чи можна рух більярдної кульки після удару вважати рухом за інерцією? Поясніть свою думку.
5. У космічному просторі немає від чого відштовхнутись, але космічні ракети успішно там літають, змінюючи швидкість свого руху. Від чого «відштовхуються» ракети, щоб змінити швидкість свого руху?
6. 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.
7. Подайте в кілограмах і запишіть у стандартному вигляді такі маси тіл: а) 5,3 т; б) 0,25 т; в) 4700 г; г) 150 ц.
8. Перегляньте відеоролик. У яких сюжетах рух мультиплікаційних героїв можна вважати рухом за інерцією? Поясніть свою думку.

Експериментальне завдання

«Реактивний рух». Здійсніть уявний експеримент. Уявіть, що ви, рухаючись на скейті, кинули в напрямку, протилежному напрямку вашого руху, важке тіло. Як зміниться швидкість вашого руху? Що відбудеться в разі, якщо ви кинете тіло в напрямку вашого руху? перпендикулярно до напрямку руху? Якщо є можливість, перевірте ваші відповіді реальним експериментом. Де можна застосувати (або вже застосовують) спостережувані явища?

Фізика і техніка в Україні



Микола Миколайович Боголюбов (1909–1992) — видатний фізик і математик XX ст., академік, засновник наукових шкіл з нелінійної механіки та теоретичної фізики; побудував теорію надплинності та надпровідності.

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. М. М. Боголюбов був засновником і директором Інституту теоретичної фізики АН України (Київ). Цей інститут зараз носить його ім'я.

В Академії наук України засновано премію імені М. М. Боголюбова.

www.e-ranok.com.ua

§ 15. ІНЕРТНІСТЬ ТІЛА. МАСА

Згадайте: на зупинці ви заходите в автобус. Усі місця зайняті, деякі пасажири стоять. Двері зачиняються, автобус різко починає рух, і ви мусите докласти зусиль, щоб не впасти. Наступна зупинка — і ви знову змушені чіплятися за поручні, адже автобус зупинився надто різко. Чому щось «штовхає» вас уперед чи назад? У цьому параграфі ви дізнаєтесь, через яку властивість фізичних тіл ви відхиляєтеся назад, коли транспортний засіб набирає швидкості, і вперед — у момент його різкої зупинки (див. рис. 15.1).

1 Дізнаємося, що таке інертність

Напевно, кожен з вас грав у «квача». Згадайте мить, коли вам було потрібно різко змінити напрямок або швидкість свого руху: зупинитися, розігнатися, повернути вбік. Чи виходило у вас зробити це миттєво? Звичайно ж ні! Ви змушені були за когось чіплятися, робити до зупинки кілька зайвих кроків, витрачати деякий час на розгін тощо.

Розглянемо ще приклад. Коли ви граєте на уроці фізкультури з м'ячем, вам, мабуть, здається, що м'яч, ударившись об підлогу, в ту саму мить відскакує від неї. Але насправді це не так. Якщо сфотографувати рух м'яча в режимі швидкісної фотозйомки, то побачимо, що власне удар м'яча об підлогу триває деякий час (рис. 15.2).

Узагалі жодне тіло не може змінити швидкість свого руху миттєво. Кажуть, що всі тіла «чинять опір» зміні швидкості свого руху. У фізиці таку властивість тіл називають *інертністю*.

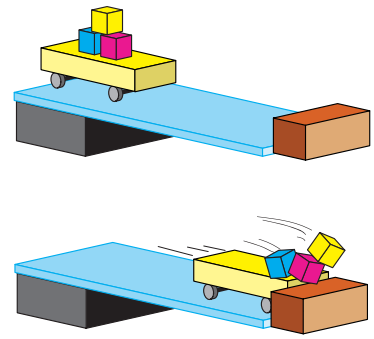


Рис. 15.1. Після того як візок зупинився, кубики певний час продовжують рух. Чи не нагадує вам цей дослід різку зупинку автобуса?

Інертність — властивість тіла, яка полягає в тому, що для зміни швидкості руху тіла внаслідок взаємодії потрібен час.

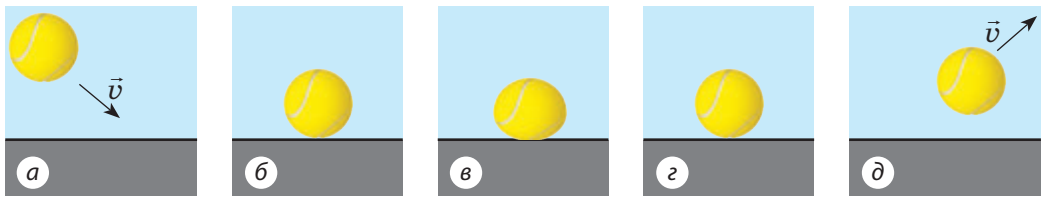
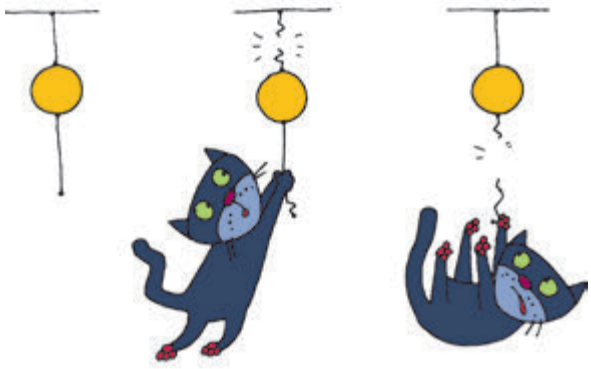


Рис. 15.2. Схематичне зображення удару м'яча об підлогу: після того як м'яч, рухаючись із певною швидкістю (*а*), торкнувся підлоги (*б*), він сплющується, зупиняючись (*в*), потім набуває звичайної форми, поступово набираючи швидкість (*г*), а вже потім відскакує від підлоги (*д*)

www.e-ranok.com.ua



а *б* *в*

Рис. 15.3. *Проведіть дослід за описом рисунка.* Тіло підвішене на тонкій нитці, знизу до тіла прив'язана така сама нитка (*а*).
Якщо за нитку, прив'язану до тіла знизу, тягти повільно, то врешті-решт порветься нитка, прив'язана зверху (*б*).
Якщо нитку, прив'язану до тіла знизу, різко смикнути, то порветься тільки вона — через інертність тіло не встигне за час ривка набрати помітну швидкість і розірвати нитку, прив'язану зверху (*в*)

Інертність тіла виявляється тоді, коли ми намагаємося змінити швидкість його руху (див. рис. 15.1–15.3).

2 Даємо означення маси тіла

Унаслідок тієї самої дії одні тіла змінюють швидкість свого руху досить швидко, інші — набагато повільніше. Наприклад, щоб за допомогою весел надати певної швидкості легкій байдарці, потрібно набагато менше часу, ніж для надання тієї самої швидкості важкому човну. У такому випадку кажуть, що човен *інертніший* за байдарку.

Інертність тіл характеризується фізичною величиною — *масою*. Чим більшою є маса тіла, тим більше часу потрібно для зміни швидкості його руху внаслідок тієї самої дії.

Маса тіла — це фізична величина, яка є мірою інертності тіла.

Масу тіла позначають символом m. *Одиниця маси в СІ* — **кілограм**:

$$[m] = \text{кг}.$$

Окрім кілограма використовують також інші одиниці маси, наприклад *тонна* (т), *грам* (г), *міліграм* (мг):

$$1\,\text{т} = 1000\,\text{кг} = 1 \cdot 10^3\,\text{кг}$$
$$1\,\text{г} = 0{,}001\,\text{кг}$$
$$1\,\text{мг} = 0{,}000\,001\,\text{кг}$$

Маса — це одна з основних одиниць СІ, тому для неї існує **еталон**.

Міжнародний еталон кілограма був створений у 1880 р.*; його використовують і зараз. Він являє собою циліндр, виготовлений зі сплаву платини й іридію (рис. 15.4). Маса циліндра — *рівно* 1 кілограм.

* Спочатку за еталон кілограма було прийнято 1 л чистої води за температури близько +4 °С. Але такий еталон був дуже незручним, а головне — недостатньо точним.

www.e-ranok.com.ua



а *б*

Рис. 15.4. Міжнародний еталон кілограма: *а* — розміри; *б* — умови зберігання

Міжнародний еталон кілограма зберігається у Франції, у Міжнародному бюро мір і ваг, розташованому в м. Севр (передмістя Парижа). Еталон дістають зі сховища не частіше ніж один раз на 15 років. В Україні, в Національному науковому центрі «Метрологія» (м. Харків), зберігається точна копія цього еталона.

3 Вимірюємо масу тіла зважуванням

Будь-яке фізичне тіло крім інертності має також властивість притягатися до інших тіл завдяки *гравітаційній взаємодії**. Як ви вже, можливо, здогадались, *мірою гравітаційної властивості тіла* також є *маса*.

Саме на гравітаційній *властивості тіл базується найпоширеніший спосіб вимірювання маси*, яким користуються в побуті, — *зважування* (рис. 15.5): *чим більшою є маса тіла, тим сильніше воно притягується до Землі* й тому сильніше тисне на шальки терезів або на ваги.

Докладніше з вимірюванням маси тіл зважуванням ви ознайомитесь у ході виконання лабораторної роботи № 6.



Рис. 15.5. Зважування — найдавніший і найпоширеніший спосіб вимірювання маси тіл

4 Дізнаємося про інший спосіб вимірювання маси

Масу тіл можна також виміряти, ґрунтуючись на інертній властивості цих тіл. Поставимо на гладеньку горизонтальну поверхню

* Детальніше з гравітаційною взаємодією ви ознайомитесь у ході вивчення § 20.

www.e-ranok.com.ua

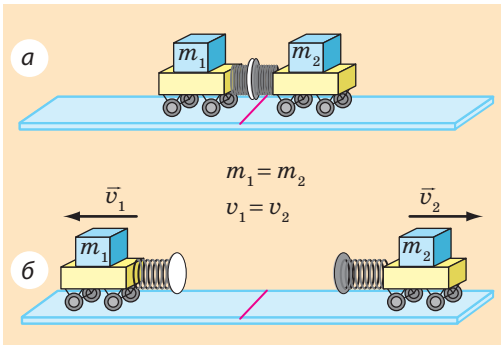


Рис. 15.6. Однакові за масою візки через дію пружин набудуть однакових за значенням швидкостей

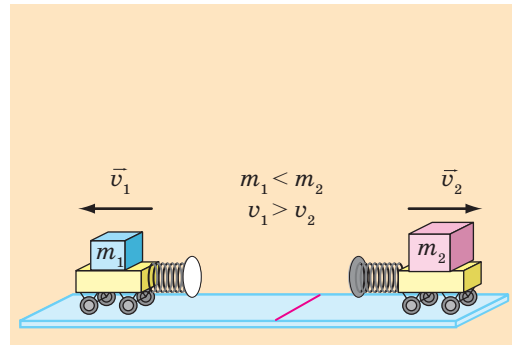


Рис. 15.7. Різні за масою візки через дію пружин набудуть різних за значенням швидкостей

два візки зі стиснутими пружинами (рис. 15.6, *а*). Розпрямляючись, пружини нададуть візкам певної швидкості.

Якщо візки набудуть однакових швидкостей і, відповідно, проїдуть до зупинки однакову відстань, то вони є однаковими за масою (рис. 15.6, *б*).

Якщо один із візків, наприклад візок *2*, набуде меншої швидкості і, відповідно, проїде меншу відстань, то він має більшу масу (рис. 15.7). При цьому в скільки разів швидкість руху, набута візком *2*, буде меншою від швидкості руху, набутої візком *1*, у стільки ж разів маса візка *2* більша за масу візка *1*:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2},$$

де m_1 і m_2 — маси візків; v_1 і v_2 — швидкості руху, яких набули візки внаслідок взаємодії.

Одержана рівність дозволяє визначити відношення мас тіл, які взаємодіють, за виміряними швидкостями рухів, яких набувають тіла внаслідок цієї взаємодії. Якщо ж при цьому маса одного з тіл (наприклад, m_1) відома, то можна визначити масу другого тіла (m_2):

$$m_2 = m_1 \cdot \frac{v_1}{v_2}$$

На перший погляд, спосіб вимірювання мас, що грунтується на інертності тіл, не є зручним, але він єдиний, якщо тіла неможливо зважити*.

* У таких випадках у формулу підставляють не набуті тілами швидкості руху, а зміну швидкості руху кожного тіла внаслідок взаємодії.

www.e-ranok.com.ua



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 інертної та гравітаційної властивостей тіла. Одиниця маси в СІ — кілограм (1 кг).

Масу тіла можна визначити зважуванням (цей спосіб ґрунтується на тому, що маса є мірою гравітаційної властивості тіла), а також порівнюючи зміни швидкостей руху тіл унаслідок взаємодії (цей спосіб заснований на тому, що маса є мірою інертності тіла).



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади, які свідчать про те, що для зміни швидкості руху тіла потрібен час. **2.** Дайте означення інертності. **3.** Які властивості тіла характеризуються його масою? **4.** Назвіть одиницю маси в СІ. **5.** Опишіть тіло, яке є еталоном маси в СІ. **6.** Назвіть способи вимірювання маси тіла. На якій властивості тіла ґрунтується кожен з них?



Вправа № 15

1. Щоб об'їхати перешкоду, водій автобуса повернув праворуч. У який бік відхиляться пасажири автобуса?

2. Маса склянки із соком становить 340 г 270 мг. Визначте масу налитого в склянку соку, якщо відомо, що маса порожньої склянки дорівнює 150 г 530 мг.

3. Із човна масою 180 кг, який перебував у спокої, зіскочив хлопчик. Швидкість руху хлопчика становила 4 м/с. Визначте масу хлопчика, якщо човен набув швидкості 1 м/с.

4. Приблизно половина дорожньо-транспортних пригод відбувається з вини пішоходів. Які міркування ви навели б своїм товаришам, щоб переконати їх завжди дотримуватися правил дорожнього руху?

5. 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 і по одному важку 10, 20 і 200 мг. Визначте масу тіла та подайте її в грамах.

6. Згадайте про чищення ковдр двома способами: вибиванням пилу та витрушуванням різкими змахами. На якій властивості тіл базуються ці два способи? Чим вони різняться з точки зору фізики?

7. Світ тварин є надзвичайно різноманітним. Виберіть для всіх учнів класу кілька груп тварин (наприклад, птахи, риби, комахи, ссавці тощо) і, скориставшись додатковими джерелами інформації, підготуйте повідомлення про «рекордсменів» за масою серед вибраних груп.

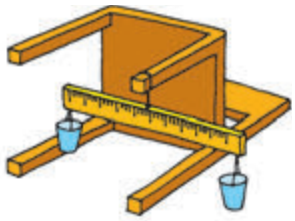
www.e-ranok.com.ua

8. Подайте в кілограмах такі маси тіл: а) 5,3 т; б) 0,25 т; в) 4700 г; г) 150 г.

9. Подайте в грамах такі маси тіл: а) 5 кг 230 г; б) 270 г 840 мг; в) 56 г 91 мг.

Експериментальне завдання

«Терези власноруч». Зробіть терези, використавши учнівську лінійку, два пластикові стаканчики, нитки (див. рисунок). За важки візьміть різні монети (їхні маси подано в таблиці). За допомогою виготовлених вами терезів визначте масу кількох невеликих тіл.



Номінал 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 мас тіл способом зважування.

Мета: навчитися працювати з важільними терезами та визначати за їхньою допомогою маси тіл.

Обладнання: важільні терези; набір важків; два тіла для зважування; дві однакові склянки: одна порожня, друга — з водою.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

Уважно прочитайте правила зважування.

Правила зважування

1. Терези ставлять перед собою, праворуч від них розташовують футляр із важками.
Учні, в яких провідна рука ліва, футляр розташовують ліворуч. Відповідно слід чинити й далі.

2. До початку зважування необхідно зрівноважити терези.
Нагадуємо! Для зрівноваження терезів на легшу 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 біль-

www.e-ranok.com.ua

шою, ніж маса тіла, важок ставлять на його місце у футлярі, а на праву шальку терезів кладуть важок меншої маси. Якщо маса важка недостатня для зрівноважування терезів, додають важки меншої маси доти, доки буде досягнуто рівноваги.

6. Зрівноваживши терези, визначають загальну масу важків на шальці і за допомогою пінцета кладуть їх 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; порошки слід насипати на аркуш, зрівноваживши перед цим терези разом з аркушем.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

1. Чітко дотримуючись правил зважування, виміряйте масу:
   а) запропонованих двох тіл;
   б) порожньої склянки;
   в) склянки з водою.
2. Результати зважувань занесіть до таблиці.

Номер досліду	Зважуване тіло	Набір важків на шальці	Маса тіла m_0, г

Опрацювання результатів експерименту

Визначте масу води в склянці як різницю маси склянки з водою і маси порожньої склянки.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину і за допомогою якого приладу ви вимірювали; 2) які чинники вплинули на точність вимірювань; 3) масу якого тіла виміряно з найбільшою точністю.

Творче завдання

Виміряйте масу монетки. Що слід зробити, щоб отримати якнайточніший результат?

Завдання «із зірочкою»

Вважаючи, що абсолютна похибка вимірювання маси під час зважування на навчальних терезах дорівнює $\Delta m = 0{,}02$ г, запишіть результати вимірювання мас запропонованих тіл у вигляді:

$$m = m_0 \pm \Delta m\,.$$

www.e-ranok.com.ua

§ 16. ГУСТИНА. ОДИНИЦІ ГУСТИНИ

Ми часто вживаємо вирази «легкий, мов повітря» або «важкий, як свинець». Але чи знаєте ви, що повітря всередині, скажімо, супермаркету має масу понад 5000 кг? Підняти вантаж такої маси не подужає й силач. Натомість свинцевий тягарець для вудки легко підніме навіть малюк. Тож наведені вирази є хибними? З'ясуємо, в чому тут річ.

1 Здійснюємо деякі вимірювання та виконуємо розрахунки

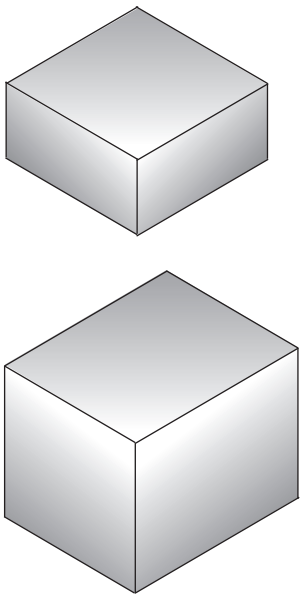


Рис. 16.1. Два свинцеві бруски, зображені в натуральну величину

На рис. 16.1 ви бачите два суцільні свинцеві бруски різного об'єму. Маса цих брусків теж є різною. Наше завдання — знайти *відношення маси кожного бруска до його об'єму*, тобто визначити *масу свинцю об'ємом* 1 см^3.

1) Виміряйте довжину, ширину, висоту брусків та обчисліть їхні об'єми (V_1 і V_2).

2) Визначте масу кожного бруска (m_1 і m_2) (рис. 16.2). Терези перебувають у рівновазі, отже, слід обчислити масу важків.

3) Визначте відношення маси кожного бруска до його об'єму ($\frac{m_1}{V_1}$ і $\frac{m_2}{V_2}$), тобто дізнайтеся, якою є маса свинцю об'ємом 1 см^3 для кожного з 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, ми виявили, що маса свинцю об'ємом 1 см^3 дорівнює 11,3 г.

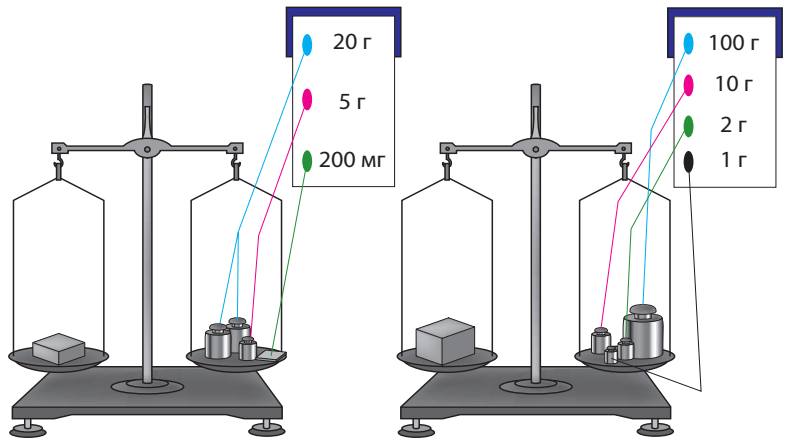


Рис. 16.2. Вимірювання мас свинцевих брусків, зображених на рис. 16.1

www.e-ranok.com.ua

Як ви вважаєте, чи змінився б отриманий нами результат, якби для експерименту взяли суцільні свинцеві бруски вдвічі більшої маси? Якщо б змінився, то в скільки разів?

2 Даємо означення густини речовини

Ми провели вимірювання та розрахунки для тіл, виготовлених зі свинцю. Якщо для експерименту взяти суцільні тіла, виготовлені з іншої речовини, наприклад з алюмінію, то знову одержимо рівні результати, але вже інші, ніж у досліді зі свинцем. Відношення маси тіла до його об'єму — характеристика не тіла, а речовини, з якої це тіло виготовлено. Цю величину називають *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 («ро»)— густина речовини; m — маса тіла; V — об'єм тіла (об'єм, зайнятий речовиною).

У СІ одиницею маси є кілограм, а одиницею об'єму — метр кубічний, тому *одиниця густини в СІ* — **кілограм на метр кубічний:**

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

Застосовують також одиницю густини *грам на сантиметр кубічний* (г/см³). Одиниці густини кілограм на метр кубічний і грам на сантиметр кубічний пов'язані співвідношенням:

$$1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{1 \cdot 1000\ \text{г}}{100\ \text{см} \cdot 100\ \text{см} \cdot 100\ \text{см}} = 0{,}001\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

$$1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 0{,}001\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

3 Порівнюємо густини різних речовин

Густини речовин можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Саме тому тіла, однакові за розміром, але виготовлені з різних речовин, будуть мати різну масу. Наведемо кілька прикладів.

Кубики на рис. 16.3. зображені в натуральну величину. Об'єм кожного кубика дорівнює 1 см³, маси кубиків зазначені на рисунку.



Корок Лід Свинець Золото

Рис. 16.3. Густини речовин є різними, тому, незважаючи на те що подані речовини займають однаковий об'єм (1 см³), їхні маси суттєво різняться

www.e-ranok.com.ua

Перший кубик виготовлений з корока. Густина корока становить 0,2 $\frac{г}{см^3}$ — це означає, що маса корока об'ємом 1 $см^3$ дорівнює 0,2 г.

Густина льоду дорівнює 0,9 $\frac{г}{см^3}$, отже, маса льоду об'ємом 1 $см^3$ дорівнює 0,9 г.

Густина свинцю становить 11,3 $\frac{г}{см^3}$, тому суцільне свинцеве тіло об'ємом 1 $см^3$ має масу 11,3 г.

Скориставшись рис. 16.3, дізнайтесь густину золота. За **таблицями густин деяких речовин** (див. с. 249 підручника) визначте масу кубика об'ємом 1 $см^3$, виготовленого з латуні.

4 З'ясовуємо, від яких чинників залежить густина речовини

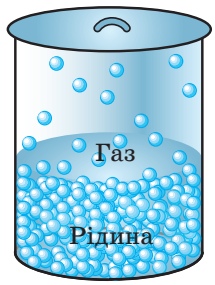


Рис 16.4. Відстань між молекулами рідини набагато менша, ніж відстань між молекулами газу

Густина суттєво залежить від агрегатного стану і температури речовини.

Якщо речовина змінює свій агрегатний стан або температуру, її *маса залишається незмінною*, оскільки кількість частинок (молекул, атомів) і маса кожної з них не змінюються. А от *об'єм речовини змінюється*, оскільки змінюється середня відстань між частинками.

Так, у разі переходу речовини з рідкого стану в газоподібний густина речовини зменшується, оскільки через збільшення середньої відстані між частинками збільшується об'єм речовини (рис. 16.4).

Зі *збільшенням температури* середня відстань між частинками збільшується, відповідно *збільшується об'єм* речовини і *зменшується її густина*. І навпаки, чим нижчою є температура речовини, тим менші міжмолекулярні проміжки, тобто меншим є об'єм речовини і більшою — її густина*.

5 Учимося обчислювати густину тіла**, масу та об'єм тіла

Одним зі способів дізнатися, з якої речовини складається суцільне тіло, є обчислення його густини, а потім порівняння одержаного результату з даними таблиці густин. *Щоб визначити густину тіла, досить*

* Винятками є вода, чавун і деякі інші речовини. Вода, наприклад, під час нагрівання від 0 °С до 4 °С свій об'єм зменшує.

** Звісно, густина — це характеристика речовини, але іноді для скорочення запису або з інших міркувань використовують термін «густина тіла».

www.e-ranok.com.ua

виміряти його масу і об'єм та визначити відношення маси тіла до його об'єму.

Наприклад, якщо суцільна фігурка об'ємом $V = 0{,}001$ м^3 має масу $m = 8{,}9$ кг, то густина речовини, з якої вона виготовлена, дорівнює:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{8{,}9\ \text{кг}}{0{,}001\ \text{м}^3} = 8900\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

За таблицею густин виявляємо, що фігурка виготовлена з речовини, яка має таку саму густину, що й мідь (рис. 16.5).

У наведених в параграфі прикладах ми розглядали суцільні однорідні тіла, тобто тіла, що не мають порожнин і складаються з однієї речовини (свинцеві бруски, мідна фігурка).

А от 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.

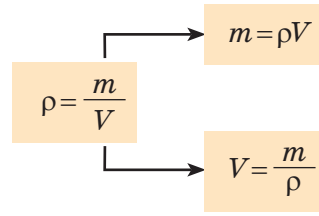
Середня густина тіла людини, наприклад, становить близько $1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Знаючи об'єм тіла та його густину (густину речовини, з якої воно виготовлено, або середню густину тіла), можна визначити масу тіла без зважування. Справді, якщо $\rho = \frac{m}{V}$, то $m = \rho V$.

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



Рис. 16.5. Густина речовини, з якої виготовлена суцільна фігурка, становить 8900 кг/м^3. Найімовірніше, фігурка виготовлена з міді





Підбиваємо підсумки

Густина речовини — це фізична величина, яка характеризує певну речовину та дорівнює відношенню маси суцільного тіла, виготовленого з цієї речовини, до об'єму тіла.

Густину можна визначити за формулою $\rho = \frac{m}{V}$.

www.e-ranok.com.ua

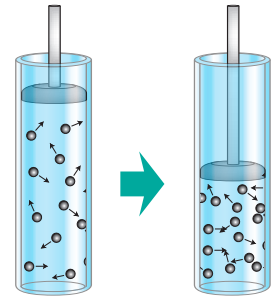
Одиницею густини в СІ є кілограм на метр кубічний (кг/м^3). Також використовують одиницю густини грам на сантиметр кубічний (г/см^3). Ці одиниці пов'язані співвідношенням: $1000\ \text{кг}/\text{м}^3 = 1\ \text{г}/\text{см}^3$.

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: $V = \dfrac{m}{\rho}$.

Контрольні запитання

1. Дайте означення густини речовини. **2.** Які вимірювання необхідно здійснити, щоб визначити густину речовини? **3.** Які одиниці густини ви знаєте? **4.** Як подати густину в грамах на сантиметр кубічний (г/см^3), якщо відоме її значення в кілограмах на метр кубічний (кг/м^3)? **5.** Чи залежить густина речовини від температури та агрегатного стану речовини? Якщо залежить, то як? Відповідь поясніть. **6.** Як обчислити масу тіла за його густиною та об'ємом? **7.** Як визначити об'єм тіла, знаючи його густину та масу?

Вправа № 16



1. У циліндрі під поршнем міститься кисень. Поршень починають опускати (див. рисунок). Як при цьому змінюється: а) маса газу? б) об'єм газу? в) густина газу?

2. Густина платини дорівнює 21 500 кг/м^3. Якою є маса платини об'ємом 1 м^3? об'ємом 1 см^3?

3. Значення якої величини ми насправді порівнюємо, коли говоримо: «легкий, мов повітря», «важкий, як свинець»?

4. У яких випадках маси тіл однакового об'єму будуть рівними?

5. Одна з двох однакових посудин наповнена рідким медом, друга — олією. Маса якої рідини більша і в скільки разів?

6. 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». За можливості визначте середню густину власного тіла, знаючи свою масу. Об'єм тіла можна знайти, вимірявши кількість води, яку ви витісняєте під час занурення у ванну. *Підказка*: крім ванни вам знадобляться посудина відомого об'єму (каструля, пластикова пляшка тощо) і помічник.

www.e-ranok.com.ua

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Визначення густин твердого тіла та рідини.

Мета: визначити густини пропонованих твердих тіл і рідини.

Обладнання: терези з важками; лінійка; досліджувані тверді тіла (дерев'яний брусок, металеве тіло на нитці); мірна посудина з водою; склянка з досліджуваною рідиною; порожня склянка; паперові серветки.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

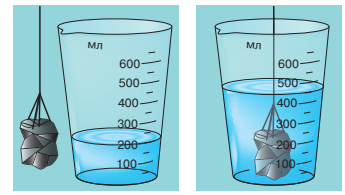
Підготовка до експерименту

1. Перш ніж розпочати вимірювання, згадайте:
   1) формулу, за якою обчислюють густину;
   2) прилади, за допомогою яких можна визначити об'єм твердого тіла;
   3) як правильно знімати покази мірної посудини;
   4) правила роботи з важільними терезами;
2. Визначте та запишіть ціну поділки шкали лінійки та ціну поділки шкали мірної посудини.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань і обчислень заносьте до таблиці.

1. Виміряйте довжину, ширину та висоту бруска за допомогою лінійки. Обчисліть його об'єм.
2. Виміряйте масу бруска за допомогою терезів.
3. Виміряйте масу металевого тіла за допомогою терезів.
4. Виміряйте об'єм металевого тіла за допомогою мірної посудини (див. рисунок). Після цього перелийте воду із мірної посудини в порожню склянку.



5. Визначте масу та об'єм досліджуваної рідини:

- виміряйте масу склянки з досліджуваною рідиною;
- перелийте рідину в мірну посудину та виміряйте об'єм рідини;
- виміряйте масу порожньої склянки;
- обчисліть масу рідини.

Досліджуване тіло або рідина	Маса m, г	Об'єм V, см^3	Густина ρ		Речовина
			г/см^3	кг/м^3	

Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте густину речовини, з якої виготовлений брусок.
2. Визначте густину металу, з якого виготовлене металеве тіло.

www.e-ranok.com.ua

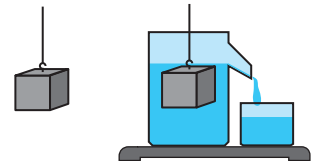
3. Визначте густину досліджуваної рідини.
4. Користуючись таблицями густин (с. 249), визначте назви речовин, з яких виготовлені досліджувані тіла, а також назву досліджуваної рідини.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину і за допомогою яких приладів ви вимірювали; 2) які результати отримали; 3) які чинники могли вплинути на точність результатів.

Творче завдання

Запропонуйте способи — теоретичний та експериментальний, за допомогою яких можна знайти масу води, що виллється з відливної посудини (див. рисунок), якщо в неї повільно занурити алюмінієвий кубик з ребром 3 см.



§ 17. 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.

Отже, уважно читаємо, думаємо, розв'язуємо. Спробуйте спочатку працювати самостійно, а вже потім дивитися, чи все ви зробили правильно.

Задача 1. Суцільний кубик із ребром 2 см має масу 20 г. З якої речовини може бути виготовлений кубик?

Аналіз фізичної проблеми. Для відповіді на запитання визначимо густину речовини, з якої виготовлений кубик, а потім скористаємося таблицею густин. Задачу розв'язуватимемо в поданих одиницях.

Дано:
$a = 2$ см
$m = 20$ г

Знайти:
ρ — ?

Пошук математичної моделі. Розв'язання.

За означенням густини: $\rho = \frac{m}{V}$.

Об'єм куба обчислюють за формулою: $V = a^3$.

Отже, маємо: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \quad \rho = \frac{20}{2^3} = \frac{20}{8} = 2{,}5\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right).$$

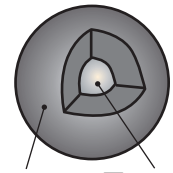
www.e-ranok.com.ua

Аналіз результату. З таблиці густин дізнаємося, що густину $2{,}5\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ має скло.

Відповідь: кубик може бути виготовлений зі скла.

Задача 2. Свинцева куля об'ємом 60 см^3 має масу 0,565 кг. Визначте, суцільна ця куля чи має порожнину. Якщо куля має порожнину, то визначте об'єм порожнини.

Аналіз фізичної проблеми. Виконаємо пояснювальний рисунок. Якщо об'єм свинцю ($V_{\text{св}}$) менший від об'єму кулі ($V_{\text{к}}$), то куля має порожнину, об'єм якої дорівнює: $V_{\text{пор}} = V_{\text{к}} - V_{\text{св}}$.



Визначаючи об'єм свинцю, вважатимемо, що маса свинцю дорівнює масі кулі: $m_{\text{св}} = m_{\text{к}}$.

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.

Дано:
$V_{\text{к}} = 60\ \text{см}^3$
$m_{\text{св}} = 0{,}565\ \text{кг} = 565\ \text{г}$
$\rho_{\text{св}} = 11{,}3\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Знайти:
$V_{\text{пор}}$ — ?

Пошук математичної моделі. Розв'язання.

1. Визначимо об'єм свинцю.

За означенням густини: $\rho_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{V_{\text{св}}}$, тому $V_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}}$.

Перевіримо одиницю, визначимо числове значення шуканої величини:

$$[V_{\text{св}}] = \frac{\text{г}}{\frac{\text{г}}{\text{см}^3}} = \frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} = \text{см}^3;$$

$$V_{\text{св}} = \frac{565}{11{,}3} = \frac{565}{11{,}3} = 50\ \text{см}^3.$$

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: $V_{\text{пор}} = 10\ \text{см}^3$.

Задача 3. Скільки залізничних цистерн місткістю 25 м^3 кожна потрібно для перевезення 1080 т нафти?

Аналіз фізичної проблеми. Кількість цистерн можна знайти, поділивши загальний об'єм нафти (V) на місткість однієї цистерни (V_0).



Загальний об'єм нафти визначимо за її масою та густиною. Густину нафти знайдемо в таблиці густин.

Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

www.e-ranok.com.ua

Дано:
$m = 1080$ т $= 1\,080\,000$ кг
$\rho = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$V_0 = 25$ м^3

Знайти:
N — ?

Пошук математичної моделі. Розв'язання. З означення густини визначимо загальний об'єм нафти:

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

Визначимо загальну кількість цистерн:

$$N = \frac{V}{V_0} = \frac{m}{\rho} : V_0 = \frac{m}{\rho V_0}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = 1; \quad N = \frac{1\,080\,000}{800 \cdot 25} = 54.$$

Аналіз результатів. Кількість цистерн, одержана в результаті розрахунків, є цілком реальною.

Відповідь: $N = 54$.

Вправа № 17



1. З якого матеріалу виготовлений дитячий кубик, об'єм якого дорівнює 250 см^3, а маса — 110 г?
2. В автобусі в бак для пального вміщується 84 кг дизельного палива. Визначте місткість бака. Відповідь подайте в літрах.
3. Для кожного випадку знайдіть значення невідомої фізичної величини (m, V або ρ). Зверніть увагу на одиниці.
   а) $m = 18$ кг, $V = 0{,}02$ м^3;
   б) $m = 140$ г, $\rho = 700$ кг/м^3;
   в) $V = 10$ м^3, $\rho = 2{,}5$ г/см^3.
4. Маса срібної фігурки становить 707 г, а її об'єм дорівнює 0,7 дм^3. Визначте, суцільна це фігурка чи має порожнину. Відповідь обґрунтуйте.
5. Об'єм залізничної цистерни дорівнює 30 м^3. Скільки тонн нафти перевезе потяг із 50 таких цистерн?
6. Що більше — маса вчителя фізкультури чи маса повітря в спортзалі, якщо маса вчителя становить 80 кг, а розміри спортзалу 20×10×5 м? Об'ємом, який займає в спортзалі спортивний інвентар, знехтуйте.
7. У мензурку з водою (рис. 1) занурили металевий циліндр масою 675 г (рис. 2). З якої речовини може бути виготовлений циліндр?

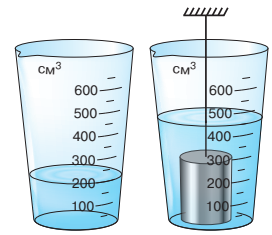


Рис. 1 Рис. 2

www.e-ranok.com.ua

8. Розв'яжіть задачу 3, подану в § 17, інакше.

9. Алюмінієвий циліндр масою 1,35 кг повністю занурили в посудину, до країв наповнену спиртом. Визначте масу спирту, що вилився.



10. Наведіть приклади взаємодії тіл, з якою ви маєте справу в побуті, школі, під час занять спортом тощо. Які зміни при цьому відбуваються з тілами?



Експериментальне завдання

«Фізика на кухні». Визначте густину сирої картоплі, скориставшись обладнанням, зображеним на рис. 3.

Можете визначити також густину деяких інших овочів. Пам'ятайте: щоб правильно виміряти об'єм тіла, його слід занурити у воду повністю.



Рис. 3

§ 18. СИЛА — МІРА ВЗАЄМОДІЇ. ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СИЛ. ДОДАВАННЯ СИЛ

З поняттям сили в буквальному значенні ми зустрічаємося 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 зазначалося, що *причиною зміни швидкості руху тіла є його взаємодія* з іншими тілами.

Щоб тенісний м'яч повернувся на бік суперника, ви б'єте по м'ячу ракеткою, але і м'яч «б'є» по ракетці. Щоб зупинити велосипед, ви натискаєте на рукоятку велосипедного гальма і водночас відчуваєте, як рукоятка тисне на ваші долоні.

Зверніть увагу: в будь-якому випадку результат залежить від того, *наскільки «сильною» буде взаємодія*: сильніше вдарите по м'ячу — м'яч набере більшу швидкість (рис. 18.1); сильніше натиснете на гальма — скоріше зупиниться велосипед.

Мірою дії одного тіла на інше слугує фізична величина *сила*.

Сила — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл).

www.e-ranok.com.ua





Рис. 18.1. Дорослий тенісист здатний змусити м'яч летіти зі швидкістю руху спортивного автомобіля (*а*); малюк не може сильно вдарити по м'ячу, тому надає йому досить невеликої швидкості руху (*б*)





Рис. 18.2. Щоб важкий автомобіль (*а*) міг розігнатися так само швидко, як легкий мотоцикл (*б*), на автомобіль слід установити потужніший двигун

Силу зазвичай позначають символом F. *Одиниця сили в СІ* — **ньютон** (названа так на честь Ісаака Ньютона):

$$[F] = \text{Н}.$$

1 Н *дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою* 1 кг *протягом* 1 с, *змінює швидкість руху цього тіла на* 1 м/с: $1\ \text{Н} = 1\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

Чим більша сила та чим вона довше вона діє на тіло, тим помітніше змінюється швидкість руху тіла (див. рис. 18.1). Щоб тіла різної маси за однаковий час змінювали швидкості своїх рухів однаково, на них мають діяти різні сили (рис. 18.2).

2 Зображуємо сили

Сила спричиняє зміну швидкості руху тіла як за значенням, так і за напрямком, тому й *характеризуватися сила має і значенням, і напрямком*.

Згадайте: фізичні величини, які мають значення та напрямок, називають векторними. Отже, *сила — векторна величина*.

На рисунках вектор сили починають у точці, куди прикладена сила (цю точку так і називають — *точка прикладання сили*), і напрямляють у напрямку дії сили. Довжину стрілки іноді обирають такою, щоб вона в певному масштабі відповідала значенню сили (рис. 18.3).

Зміна швидкості руху тіла (за значенням, за напрямком) залежить від напрямку сили (див. таблицю на с. 123).

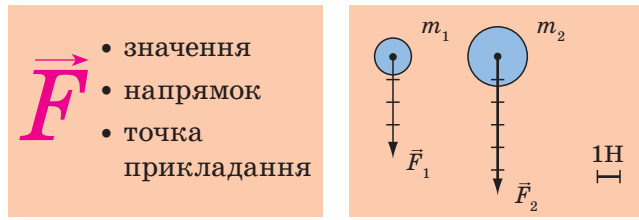
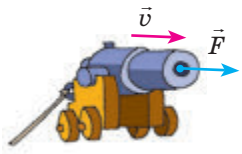
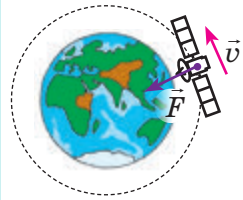


Рис. 18.3. На тіло масою $m_1 = 400$ г з боку Землі діє сила $F_1 = 4$ Н, на тіло масою $m_2 = 600$ г діє сила $F_2 = 6$ Н. Довжини стрілок, які зображують ці сили, в певному масштабі дорівнюють значенням сил

www.e-ranok.com.ua

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 руху тіла зменшується	Змінюється лише напрямок швидкості руху тіла	Змінюються значення і напрямок швидкості руху тіла

3 Додаємо сили, що діють уздовж однієї прямої

Зазвичай на тіло діє не одна сила, а дві, три або більше.

Розглянемо приклад, коли дві сили діють на тіло в одному напрямку, і приклад, коли дві сили діють на тіло в протилежних напрямках.

Поставимо на стіл візок і прив'яжемо до нього дві нитки. Потягнемо за одну нитку із силою 5 Н, а за другу — в тому самому напрямку — із силою 3 Н (рис. 18.4). Візок почне рухатися, збільшуючи швидкість свого руху. Збільшення швидкості руху візка буде таким самим, як коли б на нього діяла 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. 18.5), то сили не «допомагатимуть» одна одній розганяти візок, а навпаки — «заважатимуть». У цьому випадку візок буде рухатися так, ніби на нього

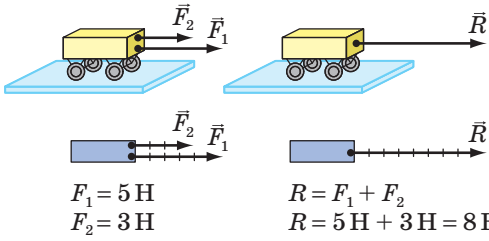


Рис. 18.4. Коли сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, що діють на тіло, напрямлені в один бік, то напрямок їх рівнодійної $\vec{R}$ збігається з напрямком дії сил

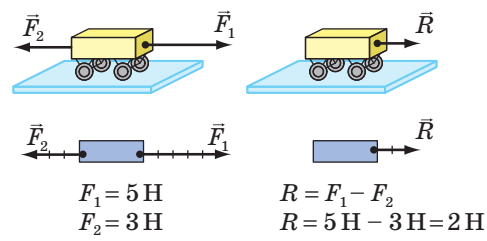


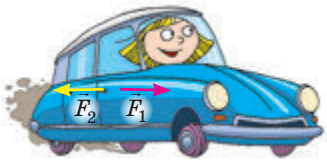
Рис. 18.5. Коли сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, що діють на тіло, напрямлені протилежно, то напрямок їх рівнодійної $\vec{R}$ збігається з напрямком більшої сили

www.e-ranok.com.ua

діє сила 2 Н, напрямлена в бік дії сили 5 Н. Тобто тут рівнодійною двох сил 5 і 3 Н буде сила 2 Н.

Як ви вважаєте, якою буде рівнодійна, якщо нитки, прив'язані до візка з протилежних боків, потягти із силами, однаковими за значенням, наприклад 5 Н? Чи зміниться в цьому випадку швидкість руху візка?

а



б

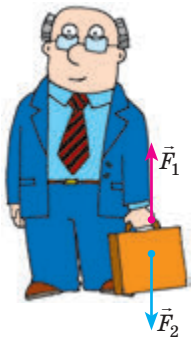


Рис. 18.6. Якщо сили, які діють на тіло, рівні за значенням і протилежні за напрямком, то тіло рухається рівномірно прямолінійно (*а*) або перебуває в стані спокою (*б*)

4 З'ясовуємо умову зрівноваження сил

Сподіваємось, ви правильно відповіли на запитання в п. 3 і самостійно дійшли висновку: *якщо дві сили рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла, то рівнодійна цих сил дорівнює нулю*, оскільки сили зрівноважують одна одну і причини для зміни швидкості руху тіла не існує.

Так, горизонтальним прямолінійним відрізком шосе автомобіль рухається рівномірно (рис. 18.6, *а*), якщо сила тяги, яку створює двигун, компенсує силу опору рухові (сила опору рухові досить швидко зупинить автомобіль, якщо двигун не буде працювати). Портфель у руці перебуває в стані спокою, якщо сила притягання Землі, яка діє на портфель, компенсується силою, яку прикладає до портфеля людина (рис. 18.6, *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. 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 сил, що діють на тіло в одному напрямку, є сила, значення якої дорівнює сумі значень сил, а напрямок збігається з напрямком цих сил.

Якщо дві сили, що діють на тіло, напрямлені протилежно, напрямок рівнодійної збігається з напрямком більшої сили, а для знаходження значення рівнодійної слід від значення більшої сили відняти значення меншої.

Дві сили зрівноважують одна одну, якщо вони рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла.

www.e-ranok.com.ua

Контрольні запитання

1. Дайте означення сили. **2.** Якою є одиниця сили в СІ? **3.** Чому сила характеризується не тільки значенням, але й напрямком? **4.** Як показують силу на рисунках? **5.** Дайте означення рівнодійної. **6.** Як знайти рівнодійну двох сил, які діють уздовж однієї прямої в одному напрямку? в протилежних напрямках? **7.** За яких умов дві сили зрівноважують одна одну?

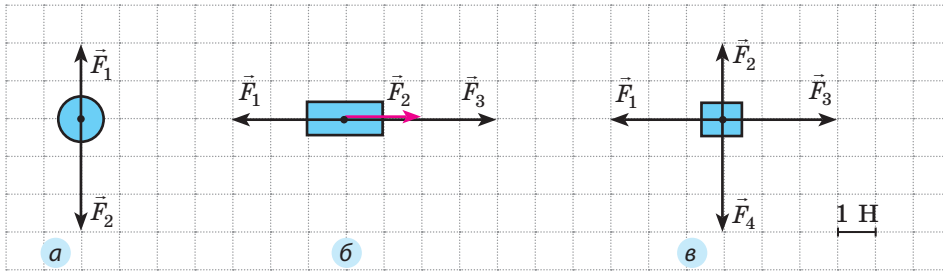
Вправа № 18

1. Доберіть певний масштаб і накресліть у зошиті сили, що дорівнюють 3,2 Н; 5,6 Н; 8 Н. Зіставте своє креслення з кресленнями однокласників. Чи відрізняються вони? Чому?

2. 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?

3. Два хлопчики тягнуть санки, прикладаючи горизонтальні сили 50 і 70 Н, напрямлені вздовж однієї прямої. Яким може бути значення рівнодійної цих сил?

4. На рисунках зображені тіла та сили, що на них діють (1 клітинка — 1 Н). Перенесіть кожний рисунок до зошита, знайдіть рівнодійну та зобразіть її.



5. 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.

6. Чи може рухатись автомобіль, якщо рівнодійна всіх сил, прикладених до нього, напрямлена протилежно напрямку руху? Якщо може, наведіть приклад.

7. На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої. Дві сили 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 цей пристрій.

www.e-ranok.com.ua

§ 19. ДЕФОРМАЦІЯ ТІЛА. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА

На початку відомого твору Івана Котляревського «Наталка Полтавка» дівчина співає пісню: «Віють вітри, віють буйні, аж дерева гнуться…» Фізики 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 і стовбури 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 Дізнаємося про різні види деформації

Уже зазначалося, що наслідком дії на тіло сили може бути як зміна швидкості його руху, так і деформація тіла. Наприклад, якщо штовхнути м'ячик, то він почне рухатись, а деякі його частини під час поштовху зміщуються одні відносно інших — м'ячик *деформується*.

Деформація — зміна форми та (або) розмірів тіла.

За тим, як саме частини тіла зміщуються одна відносно одної, розрізняють деформації *розтягнення*, *стиснення*, *вигину*, *кручення*, *зсуву* (див. таблицю).

Види деформації				
розтягнення	стиснення	вигин	кручення	зсув
				
Настроюємо гітару — *розтягуємо* струни	Сідаємо в автомобіль — пружини підвіски *стискаються*	Стаємо на дошку — дошка *вигинається*	Затягуємо шуруп — відбувається *кручення* викрутки	Пересуваємо меблі — відбувається деформація *зсуву*

2 Розрізняємо пружні та пластичні деформації

Візьміть еспандер (або гумку) і стисніть його — еспандер зігнеться. Однак якщо перестати стискати еспандер, він повністю відновить свою форму — *деформація зникне* (рис. 19.1).

Деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають **пружними**.

www.e-ranok.com.ua



Рис. 19.1. Після припинення дії руки форма еспандера відновлюється



Рис. 19.2. Глина зберігає форму, надану майстром

Працюючи над скульптурою, майстер мне руками грудку глини — глина збереже форму, надану їй майстром (рис. 19.2). Важкий прес на монетному дворі з металевих заготівок 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**.

Спробуйте навести власні приклади пружних і пластичних деформацій.

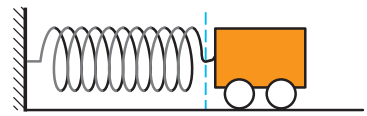
3 Даємо означення сили пружності

Під час деформації завжди виникає сила, що прагне відновити той стан тіла, в якому воно перебувало до деформації. Цю силу називають *силою пружності* (рис. 19.3).

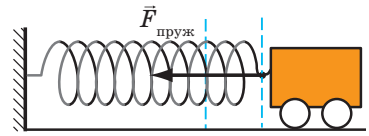
Сила пружності — це сила, яка виникає під час деформації тіла і напрямлена протилежно напрямку зміщення частин цього тіла в ході деформації.

Зазвичай силу пружності позначають символом $\vec{F}_{\text{пруж}}$, але в деяких випадках використовують інші символи.

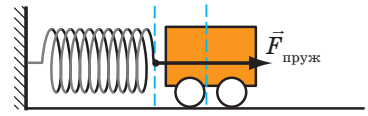
Якщо тіло тисне на опору, то опора деформується (вигинається). Деформація опори викликає появу сили пружності, яка діє на тіло *перпендикулярно до поверхні опори*. Цю силу називають **силою нормальної реакції опори** і позначають символом $\vec{N}$ (рис. 19.4).



Пружина недеформована — сила пружності відсутня



Пружина розтягнута — сила пружності намагається стиснути пружину



Пружина стиснута — сила пружності намагається розтягти пружину

Рис. 19.3. Напрямок сили пружності під час деформацій розтягнення та стиснення

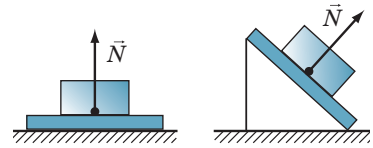


Рис. 19.4. Сила нормальної реакції опори ($\vec{N}$) завжди напрямлена перпендикулярно до поверхні опори

www.e-ranok.com.ua

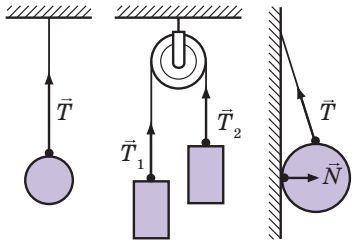


Рис. 19.5. Сила натягу підвісу ($\vec{T}$) завжди напрямлена вздовж підвісу



Рис. 19.6. Роберт Гук (1635–1703), видатний англійський природознавець, один із засновників експериментальної фізики

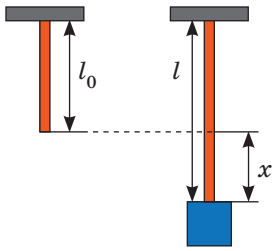


Рис. 19.7. Якщо до гумового шнура підвісити тягар, то довжина шнура збільшиться

Якщо тіло розтягує підвіс (нитку, джгут, шнур), то виникає сила пружності, напрямлена *вздовж підвісу*. Цю силу називають **силою натягу підвісу** і позначають символом $\vec{T}$ (рис. 19.5).

4 Відкриваємо закон Гука

Наукове дослідження процесів розтягування та стискання тіл розпочав у XVII ст. *Роберт Гук* (рис. 19.6). Результатом роботи вченого став закон, який згодом отримав назву **закон Гука:**

У разі малих пружних деформацій розтягнення або стиснення 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.**

Видовження — *це фізична величина, яка характеризує деформації розтягнення та стиснення і дорівнює зміні довжини тіла в результаті деформації.*

Видовження x визначають за формулою:

$$x = |l - l_0|\,,$$

де l — довжина деформованого тіла; l_0 — довжина недеформованого тіла (рис. 19.7).

Жорсткість тіла можна визначити, скориставшись законом Гука:

$$F_{\text{пруж}} = kx \Rightarrow k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x}\,.$$

Одиниця жорсткості в СІ — **ньютон на метр:**

$$[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}\,.$$

Жорсткість — це характеристика тіла, тому вона не залежить ані від сили пруж-

www.e-ranok.com.ua

ності, ані від видовження. 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 $F_{\text{пруж}}(x)$ є пряма (рис. 19.8). *Чим більшою є жорсткість тіла, тим вище розташований графік.*

Скориставшись графіками на рис. 19.8, визначте жорсткість тіл I–III та обґрунтуйте останнє твердження.

5 З'ясовуємо, чому виникає сила 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 величезної кількості частинок. У результаті додавання сил дає помітну рівнодійну, яка протидіє деформації тіла. Це і є сила пружності. Отже, *сила пружності — прояв дії міжмолекулярних сил.*

6 Знайомимося з приладами для вимірювання сили

Сила — це фізична величина, тому її можна вимірювати.

Прилади для вимірювання сили називають **динамометрами**.

Основна складова найпростіших динамометрів — пружина. Розглянемо принцип дії таких динамометрів на простому прикладі. Щоб за допомогою пружини, жорсткість k якої відома, виміряти силу F, з якою кіт тягне візок (рис. 19.9), необхідно:

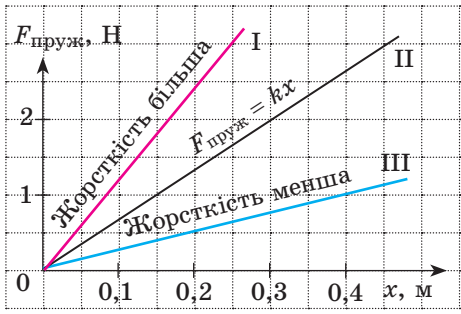


Рис. 19.8. Графік $F_{\text{пруж}}(x)$ — залежності сили пружності від видовження тіла — пряма лінія

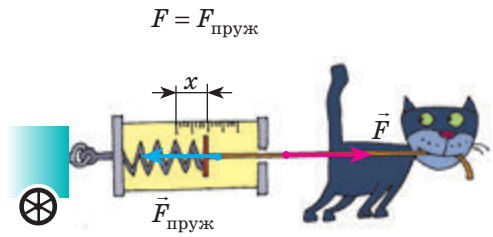


Рис. 19.9. Силу, з якою кіт тягне візок, можна виміряти за допомогою пружини

www.e-ranok.com.ua

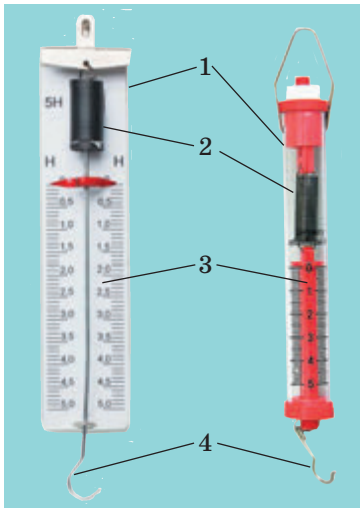


Рис. 19.10. Шкільні пружинні лабораторні динамометри: *1* — панель; пластиковий корпус; *2* — пружина; *3* — шкала; *4* — повідець із гачком



Рис. 19.11. Тяговий динамометр, призначений для вимірювання великих сил, наприклад сили тяги трактора

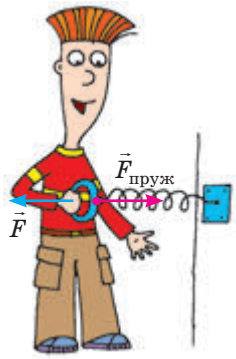


Рис. 19.12. До задачі 1 в § 19

1) виміряти видовження x пружини;

2) скориставшись законом Гука, визначити силу пружності ($F_{пруж} = kx$), яка діє на кота з боку пружини і за значенням дорівнює силі F тяги кота: $F = F_{пруж}$.

Зрозуміло, що кожного разу вимірювати видовження і розраховувати силу незручно. Тому для вимірювання сил пружину закріплюють на панелі, на яку наносять шкалу, градуюючи її відразу в одиницях сили. Саме таку будову мають найпростіші шкільні лабораторні динамометри (рис. 19.10). Існують й інші види пружинних динамометрів (див., наприклад, рис. 19.11).

7 Учимося 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.

Аналіз фізичної проблеми. Сила, яку прикладає хлопчик, за значенням дорівнює силі пружності, що виникає під час розтягнення пружини: $F = F_{пруж}$ (рис. 19.12). Деформація є пружною, тому, вважаючи, що жорсткість пружини не змінюється, скористаємося законом Гука. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:
$F_1 = 40$ Н
$x_1 = 8$ см $= 0{,}08$ м
$x_2 - x_1 = 6$ см $=$
$= 0{,}06$ м

Знайти:
k — ?
F_2 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

1. Визначимо жорсткість пружини:

$$F_{пруж1} = kx_1,$$

тому $k = \dfrac{F_{пруж1}}{x_1} = \dfrac{F_1}{x_1}$;

$$k = \frac{40\ \text{Н}}{0{,}08\ \text{м}} = 500\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

2. Знайдемо силу, яку треба прикласти учневі, щоб додатково розтягнути пружину:

$$F_2 = F_{пруж2} = kx_2.$$

www.e-ranok.com.ua

За умовою $x_2 - x_1 = 0{,}06$ м, тому $x_2 = x_1 + 0{,}06\ \text{м} = 0{,}08\ \text{м} + 0{,}06\ \text{м} = 0{,}14\ \text{м}$;

отже, $F_2 = 500\ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0{,}14\ \text{м} = 70\ \text{Н}$.

Аналіз результатів. Для видовження пружини на 8 см учень прикладає силу 40 Н; для видовження пружини ще на 6 см учневі треба збільшити силу на 30 Н — це правдоподібний результат.

Відповідь: $k = 500\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; $F_2 = 70$ 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:

1) жорсткість шнура;

2) видовження шнура, коли до нього прикладено силу 5 Н;

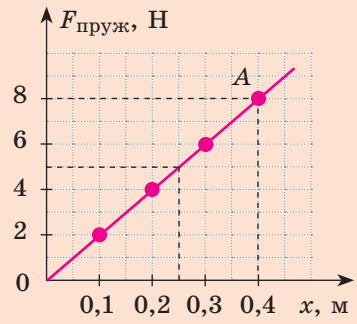
3) силу, яку треба прикласти до шнура, щоб видовження становило 60 см.

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 горизонтальній осі будемо відкладати видовження x шнура, а на вертикальній — відповідне значення сили пружності $F_{\text{пруж}}$.

Розв'язання. Побудувавши зазначені точки (див. рисунок), побачимо, що всі вони належать одній прямій, отже, для будь-якої точки графіка маємо: $F_{\text{пруж}} = kx$.



1) Обравши точку A графіка, знайдемо жорсткість шнура: $k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x} = \frac{8\ \text{Н}}{0{,}4\ \text{м}} = 20\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

2) Видовження шнура внаслідок дії сили 5 Н знайдемо за графіком: якщо $F_{\text{пруж}} = 5$ Н, то $x = 0{,}25$ м.

3) Силу, яку треба прикласти до шнура, щоб він був видовжений на 0,6 м, знайдемо за законом Гука: $F = F_{\text{пруж}} = kx = 20\ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0{,}6\ \text{м} = 1{,}2$ Н.

Відповідь: $k = 20\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; $x = 0{,}25$ м; $F = 1{,}2$ Н.

www.e-ranok.com.ua

Підбиваємо підсумки

Деформацією називають зміну форми і (або) розмірів тіла. Якщо після припинення дії на тіло зовнішніх сил деформації повністю зникають, то це пружні деформації; якщо деформації зберігаються, то це пластичні деформації.

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 проявом 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 називають динамометрами. Найпростіші з них — пружинні динамометри.

Контрольні запитання

1. Що таке деформація? У чому причина її виникнення? **2.** Які види деформацій ви знаєте? Наведіть приклади. **3.** Які деформації називають пружними? пластичними? Наведіть приклади. **4.** Дайте означення сили пружності. **5.** Чому виникає сила пружності? **6.** Сформулюйте закон Гука. **7.** Який прилад слугує для вимірювання сили? **8.** Опишіть будову найпростішого лабораторного динамометра.

Вправа № 19

1. На стіл поставили важкий брусок. Що відбуватиметься зі стільницею? Куди буде напрямлена сила пружності стільниці? Виконайте рисунок і зазначте на ньому силу пружності, що діє на брусок.

2. Пружина в розтягнутому стані має довжину 12 см. Якою є довжина недеформованої пружини, якщо видовження дорівнює 20 мм?

3. Жорсткість пружини становить 20 Н/м. Яку силу потрібно прикласти до пружини, щоб розтягти її на 0,1 м?

4. У кожному випадку за даними щодо сили пружності та видовження пружини визначте жорсткість пружини: а) $F_{\text{пруж}} = 10$ Н, $x = 0{,}2$ м; б) $F_{\text{пруж}} = 3$ кН, $x = 0{,}15$ м; в) $F_{\text{пруж}} = 2{,}1$ Н, $x = 3{,}5$ мм.

5. Скориставшись законом Гука, знайдіть значення фізичних величин ($F_{\text{пруж}}$, k або x): а) $x = 2$ см, $F_{\text{пруж}} = 13$ Н; б) $k = 2$ Н/см, $x = 4$ мм; в) $F_{\text{пруж}} = 1{,}8$ кН, $k = 600$ Н/м.

6. 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?

7. Багато виробників подають характеристики своїх пружин за допомогою графіків. На рис. 1 подано графіки залежності $F_{\text{пруж}}(x)$ для двох пружин. Визначте жорсткість кожної пружини. Обчисліть видовження кожної пружини в разі якщо до неї прикласти силу 50 Н.

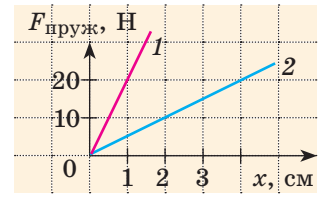


Рис. 1

www.e-ranok.com.ua

8. Дві пружини, які мають жорсткості 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:* в разі послідовного з'єднання пружин сила пружності буде однаковою в будь-якій точці системи: $F_{\text{пруж}}=F_{\text{пруж 1}}=F_{\text{пруж 2}}$.

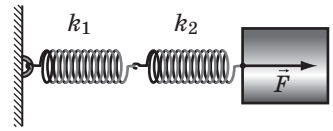


Рис. 2

Фізика і техніка в Україні



Дніпропетровський національний університет (ДНУ) імені Олеся Гончара — один із провідних вищих навчальних закладів України. Перший набір студентів ДНУ здійснив у 1918 р. Першим ректором університету був відомий учений-біолог *Володимир Порфирійович Карпов* (1870–1943).

Університет пишається цілою плеядою вчених-фізиків, серед яких Г. В. Курдюмов, В. І. Данилов, О. М. Динник, В. С. Будник, В. І. Моссаковський та багато інших. Завдяки зусиллям провідних науковців у ДНУ успішно розвиваються відомі наукові школи в галузі математики, механіки, радіофізики, ракетно-космічної техніки, нейрокібернетики тощо.

Зважаючи на державне та міжнародне визнання результатів діяльності, Дніпропетровському університету присвоєно статус національного.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема. Дослідження пружних властивостей тіл.

Мета: дослідити пружні властивості гумових шнурів під час деформації розтягнення.

Обладнання: штатив із муфтою та лапкою; три однакові гумові шнури завдовжки 15–20 см; набір тягарців масою 100 г кожен; учнівська лінійка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II **Підготовка до експерименту**

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

1) Що таке деформація? Які існують види деформації?
2) Які деформації називають пружними? пластичними?
3) За якою формулою розраховують силу пружності?

www.e-ranok.com.ua

2. Визначте ціну поділки шкали лінійки.
3. Зберіть пристрій.
   1) На кінцях одного зі шнурів (шнур A) зав'яжіть петлі так, щоб відстань між вузликами становила близько 8 см.
   2) Складіть два інші шнури й отримайте подвійний шнур B. На його кінцях теж і зав'яжіть петлі так, щоб відстань між вузликами становила приблизно 8 см.
   3) Шнури A і B підвісьте за петлі на лапку штатива (рис. 1).

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань та обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Потягнувши за петлю, вирівняйте шнур A, не розтягуючи його. Виміряйте відстань l_{0A} між вузликами — довжину недеформованого шнура A.
2. Підвісьте до шнура A тягарець масою 100 г (рис. 2). Виміряйте відстань l_A між вузликами — довжину деформованого шнура A.
   Примітка. Якщо підвішений до шнура тягарець масою 100 г перебуває в стані спокою, він розтягує шнур із силою, що дорівнює приблизно 1 Н.
3. Зніміть тягарець. З'ясуйте, чи повернувся нижній вузлик у вихідне положення, тобто чи була деформація шнура пружною.
4. До шнура A послідовно підвішуйте 2, 3, 4 тягарці. Для кожного випадку виміряйте довжину деформованого шнура A.
   Зверніть увагу: після кожного досліду слід знімати тягарці й з'ясовувати, чи повернувся нижній вузлик шнура у вихідне положення. Якщо деформація шнура перестане бути пружною (після зняття тягарців шнур залишиться деформованим), досліди необхідно припинити.
5. Повторіть дії, описані в пунктах 1–4, зі шнуром B.

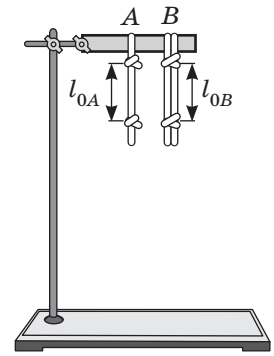


Рис. 1

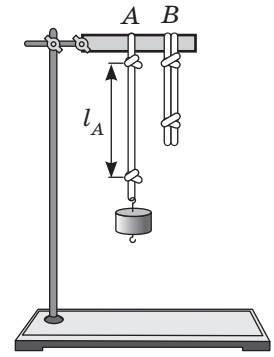


Рис. 2

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліду:
   1) визначте видовження шнурів: $x_A = l_A - l_{0A}$ і $x_B = l_B - l_{0B}$; отримані результати подайте в метрах.
   2) знайдіть відношення: $\frac{F_{\text{пруж}}}{x_A}$; $\frac{F_{\text{пруж}}}{x_B}$.

www.e-ranok.com.ua

Номер досліду	Маса тягарця, m, г	Сила пружності $F_{пруж}$, Н	Шнур A				Шнур B			
			Довжина		Видовження x_A, м	Відношення $\frac{F_{пруж}, \text{Н}}{x_A, \text{м}}$	Довжина		Видовження x_B, м	Відношення $\frac{F_{пруж}, \text{Н}}{x_B, \text{м}}$
			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 $\frac{F_{пруж}}{x}$ для кожного досліду. Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) до яких матеріалів можна віднести гуму, з якої виготовлені шнури (до пружних чи пластичних); 2) чи впливає навантаження на те, якою буде деформація (пружною чи пластичною); 3) чи залежить у разі пружної деформації жорсткість $\left(k = \frac{F_{пруж}}{x}\right)$ шнура від його видовження; 4) як змінилася жорсткість шнура зі збільшенням його товщини вдвічі.

Творче завдання

Чи зміниться відношення $\frac{F_{пруж}}{x}$, отримане в роботі, якщо шнур замінити на вдвічі довший? Перевірте результати своїх міркувань експериментально.

§ 20. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

Якщо відпустити, наприклад, олівець, він обов'язково впаде. Якщо поставити рюкзак на лаву, вона (хоч і непомітно для ока) прогнеться. Якщо підвісити до гумового шнура яке-небудь тіло, шнур розтягнеться. Усе це — наслідки 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.

1 Дізнаємося про гравітаційну взаємодію

Чому будь-який предмет: випущений із руки олівець, крапля дощу, листок дерева тощо — падає вниз? Чому стріла, пущена з лука, не летить увесь час прямо, а врешті падає на землю? Чому Місяць рухається

www.e-ranok.com.ua



Рис. 20.1. Земля притягує до себе всі тіла

навколо Землі? Причина всіх цих явищ полягає в тому, що *Земля притягує до себе всі тіла* (рис. 20.1).

Усі тіла також притягують до себе Землю. Наприклад, притягання Місяця спричиняє на Землі припливи та відпливи (рис. 20.2). Завдяки притяганню Сонця наша планета й усі інші планети Сонячної системи рухаються навколо Сонця по певних орбітах.

У 1687 р. *Ісаак Ньютон* сформулював закон, згідно з яким *між усіма тілами Всесвіту існує взаємне притягання.* Таке взаємне притягання 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. 20.2. Припливи та відпливи є наслідками притягання Землі до Місяця

2 Знайомимось із силою тяжіння

У фізиці силу гравітаційного притягання Землі, яка діє на тіла поблизу її поверхні*, називають *силою тяжіння.*

Сила тяжіння $\vec{F}_{тяж}$ — це сила, з якою Земля притягує до себе тіла, що перебувають на її поверхні або поблизу неї.

Сила тяжіння прикладена до тіла, яке притягується Землею, і напрямлена вертикально вниз, до центра Землі (рис. 20.3).

Численними дослідами доведено, що сила тяжіння, яка діє на тіло, прямо пропорційна масі цього тіла. Цю залежність подають у вигляді формули:

$$F_{тяж} = mg,$$

де $F_{тяж}$ — значення сили тяжіння; m — маса тіла; g — коефіцієнт пропорційності, який називають **прискорення вільного падіння.**

* Вважатимемо, що коли говорять «поблизу поверхні Землі», мають на увазі відстань, яка не перевищує кількох десятків кілометрів.

www.e-ranok.com.ua

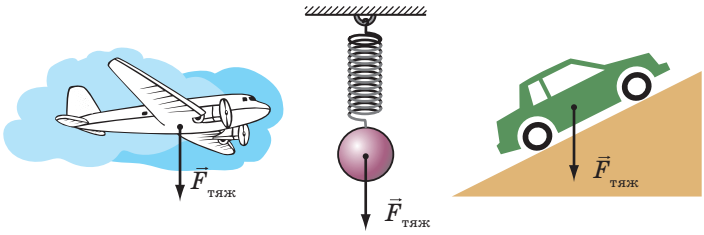


Рис. 20.3. Сила тяжіння завжди прикладена до тіла і напрямлена вертикально вниз

Поблизу поверхні Землі прискорення вільного падіння становить приблизно 9,8 ньютона на кілограм:

$$g = 9{,}8\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.^{*}$$

Значення прискорення вільного падіння незначно змінюється на екваторі й полюсах Землі (рис. 20.4), в разі підняття вгору і спуску в шахту.

Скориставшись рис. 20.4, дізнайтеся, на скільки сила тяжіння, яка діє на вас, на екваторі менша, ніж на полюсі.

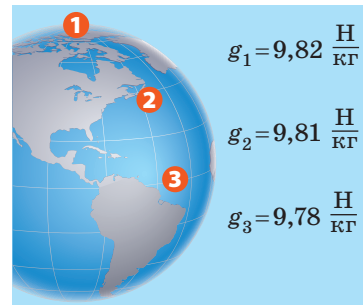


Рис. 20.4. Прискорення вільного падіння на екваторі (g_3) є незначно меншим, ніж на полюсі (g_1)

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. 20.5).

Вага тіла $\vec{P}$ — це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло тисне на горизонтальну опору або розтягує вертикальний підвіс.

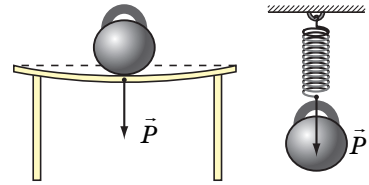


Рис. 20.5. Тіла, розміщені на опорі або підвісі, діють на них із силою, яку називають вагою тіла. Вага прикладена до опори або підвісу

Одиниця ваги в СІ, як і будь-якої іншої сили,— **ньютон** (1 Н): $[P] = \text{Н}$.

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. 20.6).

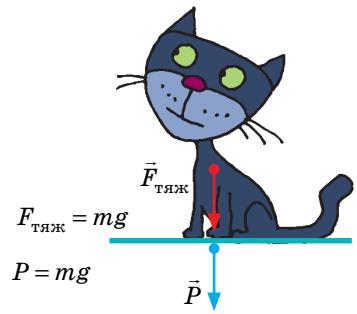


Рис. 20.6. Сила тяжіння діє на тіло, вага тіла діє на опору

* Для спрощення розрахунків, якщо не потрібна велика точність, можна вважати, що $g = 10$ Н/кг.

www.e-ranok.com.ua

4 Спробуємо створити стан невагомості

Ви, напевно, добре знаєте 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. (*Зверніть увагу*: опір повітря теж є своєрідною опорою!)

Невагомість — це такий стан тіла, за якого тіло не діє на опору чи підвіс.

Тіло поблизу поверхні Землі перебуває в стані невагомості, якщо на нього діє тільки одна сила — сила тяжіння.

На короткий час невагомість легко створити вдома, на вулиці, в класі тощо. Ви можете, наприклад, підстрибнути і на мить опинитися в стані невагомості: в даному випадку, поки ви падаєте вниз, опір повітря є нехтовно малим і можна вважати, що на вас діє тільки сила тяжіння.

Постійно в стані невагомості перебувають космічні орбітальні станції і все, що в них є (рис. 20.7). Це пов'язано з тим, що космічні кораблі «постійно падають» на Землю через її притягання і водночас залишаються на орбіті завдяки своїй величезній швидкості.

У нетренованої людини тривале перебування в стані невагомості, як правило, супроводжується нудотою, порушенням роботи м'язів, вестибулярного апарату**, нервовими розладами, саме тому космонавти проходять серйозну фізичну підготовку (рис. 20.8).



Рис. 20.7. Орбітальні станції рухаються навколо Землі під дією тільки сили тяжіння, тому вони перебувають у стані невагомості



Рис. 20.8. Щоб тривалий час працювати на орбіті в стані невагомості, космонавти проходять спеціальну підготовку

* Цікаво, що густина матерії в нашому Всесвіті досить мала (2–3 атоми Гідрогену на 1 м^3), тому у Всесвіті в середньому дуже мала й гравітація. Її називають *мікрогравітацією*.

** *Вестибулярний апарат* — орган чуття в людей та хребетних тварин, що сприймає зміни положення голови й тіла в просторі, а також напрямок руху. Цей орган відповідає, наприклад, за здатність людини навіть у темряві розрізняти, де верх, а де низ.

www.e-ranok.com.ua

Підбиваємо підсумки

У Всесвіті всі тіла притягуються одне до одного. Таке взаємне притягання тіл називають всесвітнім тяжінням.

Сила тяжіння — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, розташовані на її поверхні або поблизу неї. Сила тяжіння обчислюється за формулою $F_{тяж} = mg$ і напрямлена вертикально вниз, до центра Землі.

Вага $\vec{P}$ тіла— це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс. Треба розрізняти силу тяжіння і вагу тіла: сила тяжіння прикладена до самого тіла, а вага — до опори 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.** Хто відкрив закон, згідно з яким між усіма тілами Всесвіту існує взаємне притягання? **3.** Дайте означення сили тяжіння. За якою формулою її обчислюють? **4.** До чого прикладена і куди напрямлена сила тяжіння? **5.** Дайте означення ваги тіла. У яких випадках її обчислюють за формулою $P = mg$? **6.** Що таке невагомість? **7.** За яких умов тіло перебуватиме в невагомості?

Вправа № 20

1. Чи притягує Землю автомобіль, який стоїть на автостоянці? космічна станція, яка перебуває на орбіті?

2. Книжка лежить на столі. На яке тіло діє вага книжки?

3. Визначте силу тяжіння, яка діє на тіло масою 600 г.

4. Якою є маса тіла, якщо його вага дорівнює 600 Н?

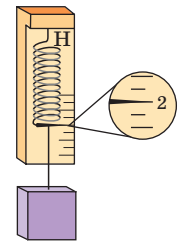
5. Якою є вага меду об'ємом 1 л?

6. У відро масою 1,5 кг налили 5,5 л води. Яку силу треба прикладати, щоб утримувати відро в руках? Зробіть пояснювальний рисунок, зазначивши сили, що діють на відро.

7. Складіть задачу, обернену до задачі 5 цієї вправи, та розв'яжіть її.

8. Визначте масу тягарця, що висить на пружині жорсткістю 200 Н/м, якщо видовження пружини становить 0,5 см.

9. Знайдіть густину речовини, з якої виготовлений кубик, і жорсткість пружини динамометра (див. рисунок). Ребро кубика дорівнює 4 см, видовження пружини — 5 см.



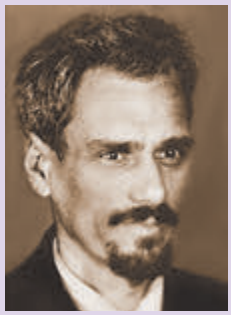
10. Як відомо, сила тяжіння на поверхні планет Сонячної системи відрізняється від сили тяжіння на поверхні Землі. Скориставшись додатковими джерелами інформації, визначте силу тяжіння, яка діяла б на вас особисто в разі космічної подорожі на ці планети (або супутники). Поміркуйте, до яких наслідків це могло б призвести.

www.e-ranok.com.ua

Експериментальне завдання

Визначте жорсткість гумки для плетіння браслетів. Для подовження гумки скористайтеся тілами відомої маси, наприклад монетами в 50 копійок (маса кожної дорівнює 4,2 г) або маленькою шоколадкою. Запишіть інструкцію з виконання цього 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, використовуючи для живлення систем космічного корабля сонячну енергію (!).

Американський астронавт *Ніл Армстронг*, який першим ступив на поверхню Місяця, спеціально взяв жменю землі біля стін будинку, де мешкав Ю. Кондратюк, сказавши: «Ця земля для мене має не меншу цінність, аніж місячний ґрунт». А один із учених, задіяних у програмі НАСА з освоєння Місяця, заявив: «Ми розшукали маленьку непримітну книжечку... 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». За пропозицією американських фахівців трасу польоту на Місяць названо *трасою Кондратюка*.

§ 21. ТЕРТЯ. СИЛА ТЕРТЯ

Французький фізик *Ґійом 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, аби 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, яку ви прикладаєте до ящика, зрівноважує сила *тертя спокою*, яка виникає між підлогою і нижньою поверхнею ящика (рис. 21.1).

www.e-ranok.com.ua

Сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$ — це сила, яка виникає між двома дотичними тілами в разі спроби зрушити одне тіло відносно іншого і напрямлена в бік, протилежний тому, в який би рухалось тіло, якби тертя не було.

Сила тертя спокою прикладена вздовж поверхні, якою тіло дотикається до іншого тіла, і *за значенням дорівнює силі* $\vec{F}$, *що намагається зрушити тіло* (рис. 21.2):

$$F_{\text{тертя сп}} = F.$$

У разі збільшення сили $\vec{F}$, що намагається зрушити тіло, збільшується й сила тертя спокою. Коли сила $\vec{F}$ набуде певного значення і тіло ось-ось почне рух, сила тертя спокою стає максимальною. З початком руху сила тертя спокою перейде в *силу тертя ковзання*.

Таким чином, для кожного випадку сила тертя спокою не може перевищувати певного максимального значення.

Найчастіше дія сили тертя спокою є дуже «корисною»: завдяки їй речі не вислизають 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 силою*, завдяки якій пересуваються люди, тварини, транспорт (рис. 21.3).

У техніці, на транспорті, в побуті досить часто вживають заходів, щоб поверхня одного тіла не рухалася відносно поверхні іншого. Наприклад, для збільшення максимальної сили тертя спокою тротуари під час ожеледиці посипають піском, узимку автомобілі «перевзувають» у зимові шини.

Спробуйте навести ще кілька подібних прикладів.

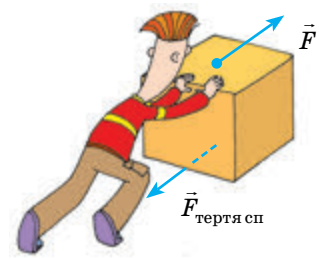


Рис. 21.1. Не вдається зрушити ящик з місця — заважає сила тертя спокою ($\vec{F}_{\text{тертя сп}}$)



Рис. 21.2. 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. 21.3. Ступні людини в момент дотику з поверхнею дороги намагаються, по суті, здійснити рух назад. Через це виникає сила тертя спокою, напрямлена вперед,— рушійна сила

2 З'ясовуємо, від чого залежить сила 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.

www.e-ranok.com.ua

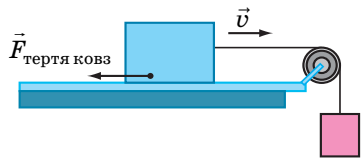


Рис. 21.4. Сила тертя ковзання діє вздовж поверхні дотику тіла та опори і завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху тіла

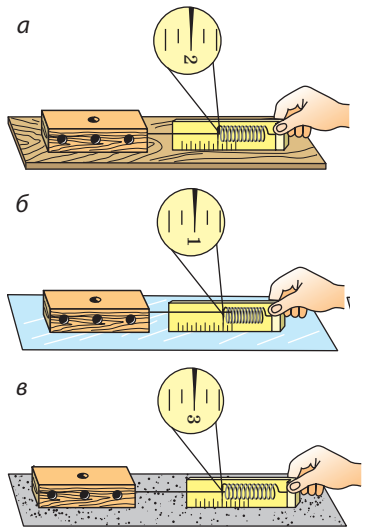


Рис. 21.5. У ході ковзання того самого тіла по різних поверхнях виникає різна сила тертя ковзання: дерев'яний брусок ковзає по дерев'яній дошці (*а*); склу (*б*); наждаковому паперу (*в*)

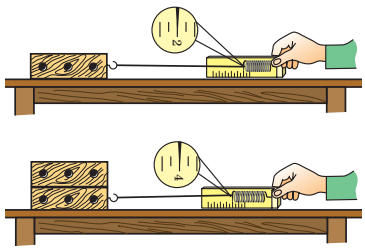


Рис. 21.6. Сила тертя ковзання зростає, якщо збільшити силу, що притискає тіло до поверхні стола

Сила тертя ковзання діє вздовж поверхні дотику тіл (рис. 21.4) і трохи менша за максимальну силу тертя спокою. Саме тому тіла починають рухатися з місця ривком і зрушити їх важче, ніж потім рухати. Це особливо помітно, коли тіла є масивними.

Прикріпимо до дерев'яного бруска гачок динамометра і будемо рівномірно тягти брусок по горизонтальній поверхні (рис. 21.5). На брусок у напрямку його руху буде діяти сила пружності з боку пружини динамометра, а в протилежному напрямку — сила тертя ковзання. Брусок рухатиметься *рівномірно*, тому сила пружності буде *зрівноважувати* силу тертя ковзання. Отже, динамометр покаже значення сили тертя ковзання.

Розгляньте рис. 21.5 і зробіть висновок щодо залежності сили тертя ковзання від властивостей дотичних поверхонь.

Зверніть увагу: якщо провести ті самі досліди, перевернувши брусок на меншу грань, покази динамометра будуть тими самими, отже, сила тертя ковзання не залежить від площі дотичних поверхонь.

Проведемо ще один дослід. Покладемо на брусок додатковий тягар, збільшивши в такий спосіб силу нормальної реакції опори (рис. 21.6). Дослід покаже, що сила тертя ковзання зросте.

*Сила тертя ковзання прямо пропорційна силі нормальної реакції опори**:

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N ,$$

де N — сила нормальної реакції опори**; μ — коефіцієнт пропорційності, який називають **коефіцієнт тертя ковзання.**

* Цей закон був установлений французьким вченим Ґ. Амонтоном і перевірений його співвітчизником Ш. Кулоном, тому й отримав назву *закон Амонтона — Кулона*.

** $N = mg$, якщо на горизонтальній поверхні на тіло у вертикальному напрямку не діють ніякі сили, крім сили тяжіння та сили нормальної реакції опори.

www.e-ranok.com.ua

Оскільки і силу тертя ковзання, і силу нормальної реакції опори вимірюють у ньютонах, то *коефіцієнт тертя ковзання є безрозмірнісною величиною*:

$$\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N} \Rightarrow [\mu] = \frac{\text{Н}}{\text{Н}} = 1.$$

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 (див. таблицю).

Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання
Сталь по льоду	0,02
Сталь по сталі	0,15
Бронза по бронзі	0,20
Дерево по дереву	0,25
Папір (картон) по дереву	0,40
Шкіра по чавуну	0,56
Гума по бетону	0,75

3 З'ясовуємо 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 або навіть зминаються. У результаті виникає сила, що протидіє руху тіла (рис. 21.7). *Сила тертя*, як і сила пружності, — *прояв сил міжмолекулярної взаємодії*.

Здавалося б, для зменшення сили тертя слід ретельно відполірувати поверхні і таким чином звести до мінімуму розміри нерівностей, однак такі поверхні настільки щільно прилягатимуть одна до одної, що значна кількість молекул опиниться 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 ковзання (так зване сухе тертя) заміниться на в'язке (рідке) тертя, за якого сила тертя є істотно меншою.



Рис. 21.7. Виникнення сили тертя пов'язане з наявністю нерівностей на поверхнях дотичних тіл

* Дослідження тертя та обґрунтування причин його виникнення є досить складними і виходять за межі шкільного курсу фізики.

www.e-ranok.com.ua

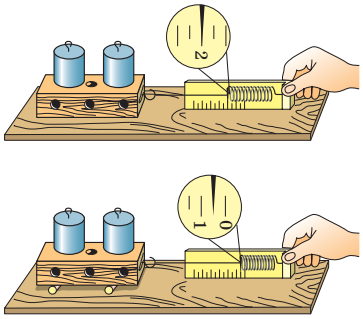


Рис. 21.8. Якщо під дерев'яний брусок підкласти круглі олівці, то пересувати брусок по столу стане значно легше



Рис. 21.9. Заміна ковзання на кочення приводить до зменшення сили тертя



Рис. 21.10. Кулькові та роликові підшипники

4 Дізнаємося про силу тертя кочення

Давній досвід людства показує, що важку кам'яну брилу легше перекочувати на колодах, ніж просто тягти по землі.

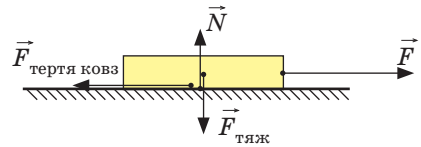
Якщо одне тіло котиться вздовж поверхні іншого, то маємо справу з **тертям кочення**. *Сила тертя кочення зазвичай набагато менша, ніж сила тертя ковзання* (рис. 21.9). Саме тому для зменшення сили тертя людство здавна використовує колесо, а в різноманітних машинах і механізмах — підшипники (рис. 21.10).

5 Учимося 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?

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; $\vec{F}_{\text{тертя ковз}}$ — сила тертя ковзання.

Книжка рухається рівномірно, отже, сили, які діють на неї, попарно скомпенсовані: $F = F_{\text{тертя ковз}}$, $N = F_{\text{тяж}}$. За цих умов і знайдемо шуканий коефіцієнт тертя.



Дано:

$F = 2$ Н

$m = 1$ кг

$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:

μ — ?

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 $\mu = \frac{F}{mg}$.

www.e-ranok.com.ua

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\mu]=\frac{\text{Н}}{\text{кг}\cdot\frac{\text{Н}}{\text{кг}}}=\frac{\text{Н}}{\text{Н}}=1;\ \mu=\frac{2}{1\cdot 10}=\frac{2}{10}=0{,}2.$$

Аналіз результатів: коефіцієнт тертя 0,2 властивий такій парі, як дерево по дереву, отже, результат правдоподібний.

Відповідь: $\mu=0{,}2$.



Підбиваємо підсумки

Сила тертя спокою ($F_{\text{тертя сп}}$) — 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 силі F, що намагається зрушити тіло: $F_{\text{тертя сп}}=F$.

Сила тертя ковзання ($F_{\text{тертя ковз}}$) — 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, із яких виготовлені дотичні тіла, якості обробки їхніх поверхонь. Змащування поверхонь суттєво зменшує силу тертя.

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.** Чому виникає сила тертя ковзання? **8.** Як можна зменшити силу тертя ковзання? **9.** Чому кругле тіло котити легше, ніж тягти?



Вправа № 21

1. Чи діє сила тертя на книжку, яка вільно лежить на горизонтальному столі?

2. Щоб відкрутити гайку, треба докласти зусиль. Чому гайка набагато легше відкручується, якщо гвинт, на який накручено гайку, змастити?

3. До бруска, розташованого на горизонтальній поверхні стола, 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?

www.e-ranok.com.ua

4. Намагаючись зрушити з місця шафу, до неї прикладають горизонтальну силу, що поступово збільшується. Шафа почала рухатися, коли сила досягла 175 Н.
   а) Як змінювалася сила тертя між шафою та підлогою?
   б) Що відбуватиметься, якщо силу збільшувати ще?
   в) Яким є коефіцієнт тертя ковзання між шафою та підлогою, якщо маса шафи становить 70 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. Складіть 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 додатковими джерелами інформації та підготуйте повідомлення про відповідні історичні приклади.



8. Заповніть таблицю.

Маса тіла m, кг	Об'єм тіла V, м^3	Середня густина тіла ρ, кг/м^3	Вага тіла P, Н
7,8	0,001		
	0,5	600	
		2500	50

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема. Визначення коефіцієнта тертя ковзання.

Мета: визначити коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву.

Обладнання: дерев'яний брусок; дерев'яна дошка (трибометр); набір тягарців; динамометр.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

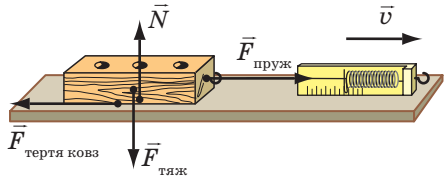
1. Перед тим як виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання.
   1) Від яких чинників залежить сила тертя ковзання і куди вона напрямлена?
   2) За якою формулою обчислюють силу тертя ковзання?
2. Визначте ціну поділки шкали динамометра.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

www.e-ranok.com.ua

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 дошку. Рівномірно переміщуйте брусок уздовж дошки (див. рисунок). За показом динамометра визначте силу тертя ковзання $\left(F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{пруж}}\right)$.



3. Повторіть експеримент ще тричі, поклавши на брусок спочатку один тягарець, потім одночасно два, а потім одночасно три тягарці $\left(N = P_{\text{брус}} + P_{\text{тягар}}\right)$.

Номер досліду	Сила тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$, Н	Сила нормальної реакції опори N, Н

Опрацювання результатів експерименту

Для кожного досліду обчисліть коефіцієнт тертя ковзання за формулою: $\mu = \dfrac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}$.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину ви вимірювали; 2) чи залежить коефіцієнт тертя ковзання від ваги тіла; 3) чи збігаються одержані результати із табличним значенням коефіцієнта тертя ковзання дерева по дереву; 4) 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 «із зірочкою»

Для досліду 1:

а) визначте відносну похибку вимірювання сили тертя ковзання та сили реакції опори: $\varepsilon_F = \dfrac{\Delta F}{F}$, $\varepsilon_N = \dfrac{\Delta N}{N}$. Тут $\Delta F = \Delta N$ — ціна поділки шкали динамометра;

б) визначте відносну та абсолютну похибки вимірювання коефіцієнта тертя ковзання: $\varepsilon_\mu = \varepsilon_F + \varepsilon_N$; $\Delta\mu = \varepsilon_\mu \cdot \mu$.

www.e-ranok.com.ua

Завдання для самоперевірки до розділу 3 «Взаємодія тіл. Сила». Частина І. Сила. Види сил

У завданнях 1–8 виберіть одну правильну відповідь.

1. *(1 бал)* Якщо на тіло не діють інші тіла, то тіло рухається:
а) прямолінійно зі швидкістю, яка зменшується;
б) прямолінійно зі швидкістю, яка збільшується;
в) рівномірно по криволінійній траєкторії;
г) прямолінійно рівномірно.

2. *(1 бал)* Деформація тіла є причиною виникнення сили:
а) тяжіння; б) пружності; в) тертя ковзання; г) тертя спокою.

3. *(1 бал)* Сила тяжіння — 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.

4. *(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 від густини кубика *2*;
в) ні, густина кубика *1* більша за густину кубика *2*;
г) визначити неможливо.

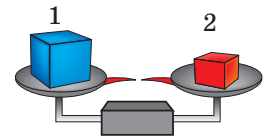


Рис. 1

5. *(2 бали)* Одна з найбільших комах живе в Новій Зеландії (рис. 2). 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.


Рис. 2

6. *(2 бали)* Щоб розтягти недеформовану пружину на 5 см, треба прикласти силу 15 Н. Якою є жорсткість пружини?
а) 0,3 Н/м; в) 75 Н/м;
б) 3 Н/м; г) 300 Н/м.

7. *(2 бали)* Кулька підвішена до динамометра (рис. 3). Якою є маса кульки?
а) 3,5 г; б) 35 г; в) 350 г; г) 3,5 кг.

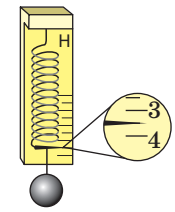


Рис. 3

8. *(2 бали)* Маса тіла із золота об'ємом 1 $см^3$ є більшою, ніж маса свинцевого тіла того самого об'єму, на:
а) 8,0 г; б) 11,3 г; в) 8 кг; г) 11,3 кг.

www.e-ranok.com.ua

9. *(2 бали)* На рис. 4 зображені сили, що діють на тіло, яке за допомогою динамометра рівномірно тягнуть по столу в горизонтальному напрямку. Назвіть ці сили. Зіставте їх.

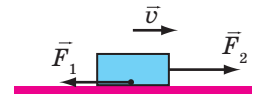
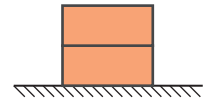


Рис. 4

10. *(3 бали)* На цеглину масою 8 кг, що лежить на підлозі, поклали таку саму цеглину (рис. 5). Виконайте схематичний рисунок у зошиті і зобразіть 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 дії цієї сили.

А Сила пружності	**1** Гепард розганяється під час полювання
Б Сила тертя ковзання	**2** Літак здійснює політ
В Сила тертя спокою	**3** Ковзаняр гальмує після фінішу
Г Сила тяжіння	**4** Краплі дощу скочуються з даху
	5 Випущена стріла набирає швидкість

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 порожній вимірювальний циліндр налили рідину (рис. 6). Сила тяжіння, що діє на рідину, дорівнює 1,75 Н. Визначте, яку рідину налили в циліндр.

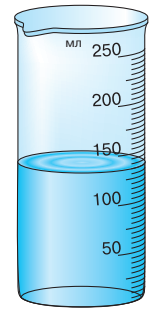


Рис. 6

14. *(4 бали)* Для рівномірного руху горизонтальною дорогою до саней треба прикладати горизонтальну силу 500 Н. Визначте масу саней, якщо коефіцієнт тертя між саньми і дорогою дорівнює 0,2.

15. *(4 бали)* На рис. 7 подано графік залежності видовження пружини від маси підвішеного до неї тягаря. Визначте жорсткість пружини.

16. *(4 бали)* Щоб одержати латунь, переплавили мідь об'ємом 0,2 м^3 і цинк об'ємом 50 дм^3. Якою є густина одержаної латуні? Об'єм сплаву дорівнює сумі об'ємів його складників.

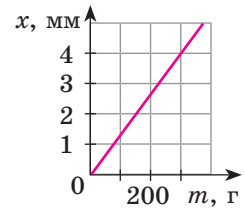


Рис. 7

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці 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».

www.e-ranok.com.ua

ЧАСТИНА II. ТИСК. ЗАКОН АРХІМЕДА. ПЛАВАННЯ ТІЛ

§ 22. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ. СИЛА ТИСКУ



Чому мешканці Півночі для пересування по снігу використовують лижі? Чому влітку жінка, взута в туфлі на шпильках, залишає на м'якому асфальті помітні й глибокі сліди? Чому леза ножів час від часу нагострюють? Чому цвях має вістря? Спробуємо 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.

Деформація залежить і від інших чинників, зокрема від площі поверхні, по якій розподіляється сила. У більшості випадків діє правило: *чим більшою є площа поверхні, на яку діє певна сила, тим меншою буде деформація.*



Рис. 22.1. Дерев'яний брусок провалюється в сніг більше, якщо він поставлений на меншу грань

Проілюструємо це твердження за допомогою простого досліду: поставимо дерев'яний брусок на сніг спочатку на одну грань, а потім на іншу, більшої площі (рис. 22.1). У першому випадку сніг деформується сильніше (брусок більше провалиться в сніг), хоча в обох випадках сила, що діє на сніг з боку бруска (тобто вага бруска), є однаковою.

Можна провести ще один дослід: натисніть з однаковою невеликою силою на поверхню піску спочатку розкритою долонею, а потім пальцем — і ви побачите, в якому випадку глибина сліду буде більшою (рис. 22.2).



Рис. 22.2. Якщо на поверхню піску натиснути рукою, то глибина сліду залежатиме від того, як саме було натиснуто — долонею чи пальцем (за однакової сили тиску)

2 Даємо означення тиску

Для характеристики залежності результату дії сили від площі поверхні, на яку діє ця сила, використовують таке поняття, як *тиск*.

www.e-ranok.com.ua

Тиск — це фізична величина, яка характеризує результат дії сили і дорівнює відношенню сили, яка діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

$$p = \frac{F}{S},$$

де p — тиск; F — *сила тиску* — сила, що діє на поверхню перпендикулярно до неї; S — площа цієї поверхні.

Одиниця тиску в СІ — **паскаль** (Па); названа на честь французького вченого *Блеза Паскаля* (рис. 22.3):

$$[p] = \text{Па}.$$

1 Па — *це тиск, який створює сила* 1 Н, *що діє перпендикулярно до поверхні площею* 1 м^2:

$$1\ \text{Па} = \frac{1\ \text{Н}}{1\ \text{м}^2}.$$

1 Па — невеликий тиск (приблизно такий тиск чинить на стіл аркуш альбому для малювання), тому частіше використовують кратні одиниці тиску: гектопаскаль (1 гПа = 100 Па), кілопаскаль (1 кПа = 1000 Па), мегапаскаль (1 МПа = 1 000 000 Па).

? Розгляньте таблицю та поміркуйте, чому, наприклад, гусениці трактора створюють на ґрунт набагато менший тиск, ніж колеса легкового автомобіля.

3 З'ясовуємо, як можна збільшити або зменшити тиск

З означення тиску $\left(p = \frac{F}{S}\right)$ випливає, що тиск твердих тіл можна змінити в два способи.

Перший спосіб: змінити силу, яка діє на поверхню певної площі. Зі збільшенням сили тиск збільшиться; зі зменшенням сили тиск зменшиться.

Другий спосіб: змінити площу поверхні, на яку діє певна сила тиску. Для збільшення тиску площу слід зменшити (саме тому



Рис. 22.3. Блез Паскаль (1623–1662) — французький математик, фізик, філософ, письменник. Мав дивовижно різнобічні інтереси, що, втім, було характерним для доби Відродження

Тиски, які створюють деякі тіла

Тіло, що створює тиск	Тиск p, кПа
Людина, що стоїть, на підлогу	20–30
Гусениці трактора на ґрунт	40–50
Колеса легкового автомобіля на ґрунт	200–300
Лезо лопати на ґрунт	1000–2000
Швацька голка на тканину	До 100 000
Колеса залізничного вагона на рейки	300 000
Зуби собаки на кістку	До 150 000
Жало оси на шкіру	33 000 000

www.e-ranok.com.ua



Рис. 22.4. Щоб прикладати менше зусиль під час роботи з деякими інструментами, їх нагострюють



Рис. 22.5. Людина провалилася в сніг, а всюдихід залишився на його поверхні

нагострюють інструменти — ножиці, ножі, шило тощо) (рис. 22.4). І навпаки, для зменшення тиску площу поверхні збільшують.

Розгляньте рис. 22.5 і поясніть, чому тиск, який створюють ноги людини, є більшим за тиск, що створює важкий всюдихід.

2 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Порівняйте тиски, які чинять на поверхню снігу юний турист і юний лижник. Маса кожного хлопця разом зі спорядженням становить 63 кг. Площа підошви черевика туриста дорівнює приблизно 210 см^2, площа лижі — приблизно 1800 см^2.

Аналіз фізичної проблеми. Тиск, який створює кожен юнак, визначається силою тиску та площею, на яку він спирається. Сила тиску в обох випадках — це вага юнака; вона розподіляється на дві підошви або дві лижі. Вважатимемо, що на обидві підошви (лижі) навантаження розподіляється рівномірно. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

$m_1 = m_2 = 63$ кг

$S_{01} = 210$ см^2 $= 0{,}021$ м^2

$S_{02} = 1800$ см^2 $= 0{,}18$ м^2

$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:

p_1 — ?

p_2 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням тиску: $p = \frac{F}{S}$. Тут $F = P = mg$, а $S = 2S_0$.

Підставивши вирази для F і S у формулу тиску, маємо: $p = \frac{mg}{2S_0}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканих величин: $[p] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$;

для туриста: $p_1 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0{,}021} = \frac{30}{0{,}002} = 15\,000$ (Па);

$p_1 = 15$ кПа;

www.e-ranok.com.ua

для лижника: $p_2 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0{,}18} = \frac{70}{0{,}04} = 1750$ (Па); $p_2 = 1{,}75$ кПа.

Аналіз результатів. Тиск, що створює турист, приблизно у 8,6 разу більший за тиск, що створює лижник $\left(\frac{p_1}{p_2} = \frac{15\ \text{кПа}}{1{,}75\ \text{кПа}} \approx 8{,}6\right)$. Це реальний результат, адже за рівних сил більший тиск створює та сила, яка діє на меншу площу.

Відповідь: $p_1 = 15$ кПа; $p_2 = 1{,}75$ кПа; $p_1 > p_2$ приблизно у 8,6 разу.



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 $\left(1\text{Па} = \frac{1\text{Н}}{1\text{м}^2}\right)$.

Для збільшення тиску слід зменшити площу поверхні, на яку діє сила тиску, або збільшити силу тиску.

Для зменшення тиску слід збільшити площу поверхні, на яку діє сила тиску, або зменшити силу тиску.



Контрольні запитання

1. Від чого залежить результат дії сили? **2.** Дайте означення тиску. **3.** Назвіть одиницю тиску в СІ. **4.** Дайте означення одиниці тиску. **5.** Як можна збільшити тиск? Як можна зменшити тиск? Наведіть приклади.



Вправа № 22

1. Людина, яка сидить на дивані, створює на його поверхню певний тиск. Як зміниться тиск, якщо людина ляже на диван?

2. Чому оса своїм жалом (рис. 1) може створити тиск набагато більший, ніж тиск, що створює на підлогу людина, коли стоїть?



Рис. 1

3. Площа різального краю лопати становить 70 мм^2. Який тиск створює лопата на ґрунт, якщо людина діє на лопату із силою 210 Н?

4. Тиск гусеничного трактора на ґрунт становить 45 кПа. Що це означає? З якою силою трактор тисне на ґрунт, якщо площа, на яку спираються його гусениці, становить 1,5 м^2?

5. Подайте зазначений тиск у паскалях: 0,35 кН/м^2; 1,5 Н/см^2; 36 мН/см^2.

6. Хлопчик виїхав на лижах на снігову галявину. Сніговий наст галявини витримує тиск 2 кПа. Ширина лиж — 10 см, довжина — 1,5 м. Якою може бути максимальна маса хлопчика, щоб він не провалювався в сніг?

www.e-ranok.com.ua

7. Ніхто не може бути повністю застрахований від нещасного випадку на водоймі, вкритій льодом. Як повинні поводитися рятувальник і сам постраждалий, якщо сталася біда і людина провалилася під лід (рис. 2)? Обґрунтуйте їхні дії.



Рис. 2

8. За незмінної площі поверхні тиск прямо пропорційний силі тиску. Побудуйте графік залежності тиску на поверхню площею 0,25 м^2 від сили, що діє перпендикулярно до цієї поверхні.

9. Скориставшись додатковими джерелами інформації, обчисліть 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!

Фізика і техніка в Україні



Степан Прокопович Тимошенко (1878–1972) — видатний український учений-механік, один із 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*.

§ 23. ТИСК ГАЗІВ І РІДИН. ЗАКОН ПАСКАЛЯ



Чому збільшується об'єм гумової повітряної кульки в ході її надування? Відповідь зрозуміла: в кульку додають повітря. А чи можна збільшити об'єм кульки без того, щоб її надувати? Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, в яку її налили, а й на бічні стінки? Чому водій, натискаючи на гальма, може зупинити важкий автомобіль?

Ці загадки тиску газів і рідин ми й спробуємо розгадати.

www.e-ranok.com.ua

1 З'ясовуємо, чому гази створюють тиск

Покладемо злегка надуту зав'язану повітряну кульку під ковпак повітряного насоса (рис. 23.1, *а*). Якщо з-під ковпака відкачувати повітря, то об'єм кульки почне збільшуватись (рис. 23.1, *б*). Чому так відбувається?

І ззовні, і всередині кульки міститься повітря (газ). Газ складається з частинок (атомів і молекул), які весь час рухаються *в усіх напрямках* і «бомбардують» гумову плівку, створюючи на неї тиск (рис. 23.2). Зрозуміло, що сила удару однієї частинки дуже мала, проте частинок у газі надзвичайно багато і за секунду кількість їхніх ударів по поверхні плівки становить число, яке має 23 нулі! Таким чином, загальна сила, з якою вдаряє така величезна кількість частинок, є значною.

Повітря всередині й зовні кульки створює тиск відповідно на внутрішню і зовнішню поверхні гумової плівки. Якщо ці тиски є однаковими, гумова плівка не розтягується. А от якщо тиск усередині кульки стає більшим від зовнішнього тиску, то кулька збільшує свій об'єм.

Сподіваємося, тепер ви зможете пояснити, чому повітряна кулька роздувається і тоді, коли ми її надуваємо, і тоді, коли відкачуємо повітря ззовні.

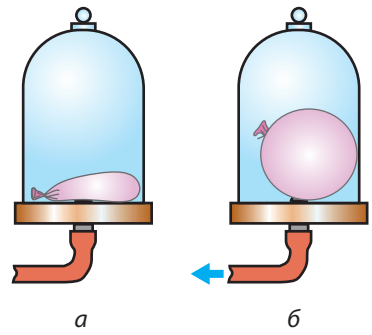


Рис. 23.1. Об'єм злегка надутої повітряної кульки (*а*) збільшується в разі зменшення зовнішнього тиску (*б*)

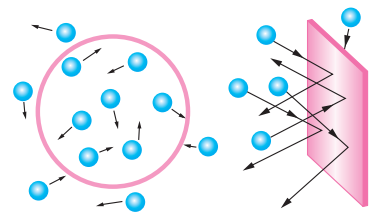


Рис. 23.2. Тиск газу на поверхню створюється численними ударами молекул газу

2 Дізнаємося, від чого залежить тиск газів

Тиск газу створюється ударами його частинок, тому збільшення як *кількості*, так і *сили ударів* на певну поверхню спричинить збільшення тиску газу. Таким чином, *тиск газів можна збільшити двома 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. 23.3).

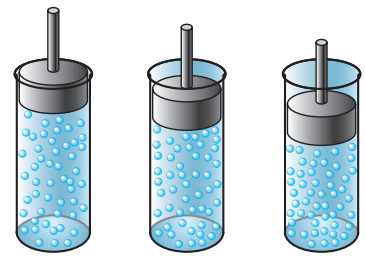


Рис. 23.3. Якщо за допомогою поршня зменшити об'єм газу, то збільшиться кількість ударів його молекул на одиницю площі стінок посудини — тиск зросте

www.e-ranok.com.ua

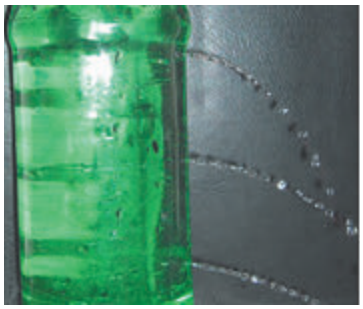


Рис. 23.4. Рідина створює тиск і на бічну поверхню посудин



Рис. 23.5. Вода передає додатковий тиск у всі боки і внаслідок цього виходить із пакета в усіх напрямках

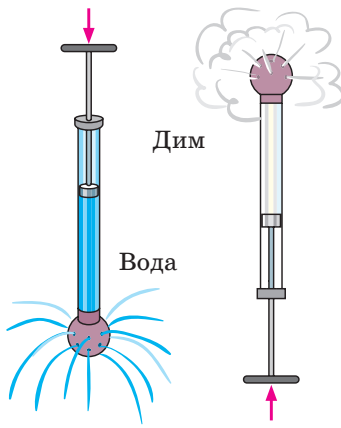


Рис. 23.6. Газ, як і рідина, передає додатковий тиск у всі боки

Другий спосіб — *збільшити температуру газу*. Чим більша температура газу, тим більшою буде швидкість руху його частинок. Удари частинок об стінки посудини стануть частішими, сила їхніх ударів зросте, і внаслідок цього тиск газу в посудині збільшиться.

Відповідно *зменшення тиску газу буде відбуватися в разі зменшення густини або температури газу*.

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 поллється через них (рис. 23.4).

Наслідком плинності рідини є також те, що *на будь-яке занурене в рідину тіло рідина тисне з усіх боків*.

4 Відкриваємо закон Паскаля

Через свою плинність 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 виливатися з усіх отворів (рис. 23.5). Аналогічний експеримент можна провести з повітрям або іншим газом (рис. 23.6). Ґрунтуючись на подібних дослідах, французький фізик *Б. Паскаль* відкрив закон, який зараз має назву **закон Паскаля:**

> Тиск, створюваний на нерухому рідину, передається рідиною однаково в усіх напрямках.

Майже те саме можна сказати й про гази.

5 Застосовуємо закон Паскаля

Властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках ми спостерігаємо

www.e-ranok.com.ua

в повсякденному житті, її широко використовують у техніці. Завдяки цій властивості ми можемо чути, адже повітря передає звук; працює наша серцево-судинна система, адже незважаючи на те, що кровоносні судини мають велику кількість вигинів, тиск, створюваний серцем, передається в усі частини тіла.

На законі Паскаля ґрунтуються дія системи гальмування багатьох транспортних засобів, дія домкратів, насосів та інших *гідравлічних машин*.

Розглянемо принцип дії гідравлічних машин на прикладі *гідравлічного преса*, який застосовують для пресування фанери та картону, віджимання олії, виготовлення деталей машин і механізмів тощо.

Гідравлічний прес — це найпростіша гідравлічна машина, яку використовують для створення великих сил тиску.

Гідравлічний прес складається з двох сполучених між собою циліндрів різного діаметра, які заповнені робочою рідиною (частіше машинним мастилом) і закриті рухомими поршнями (див. рис. 23.7).

Якщо до поршня меншого циліндра прикласти силу $\vec{F}_1$ (див. рис. 23.7, *б*), то ця сила створить на поверхню рідини певний додатковий тиск p:

$$p = \frac{F_1}{S_1},$$

де S_1 — площа меншого поршня.

Згідно із законом Паскаля цей тиск передаватиметься в усі точки рідини, що заповнює сполучені циліндри. Отже, рідина почне тиснути на поршень більшого циліндра з певною силою $\vec{F}_2$:

$$F_2 = pS_2,$$

де S_2 — площа більшого поршня; p — додатковий тиск.

Оскільки $p = \frac{F_1}{S_1}$, то маємо: $F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$.

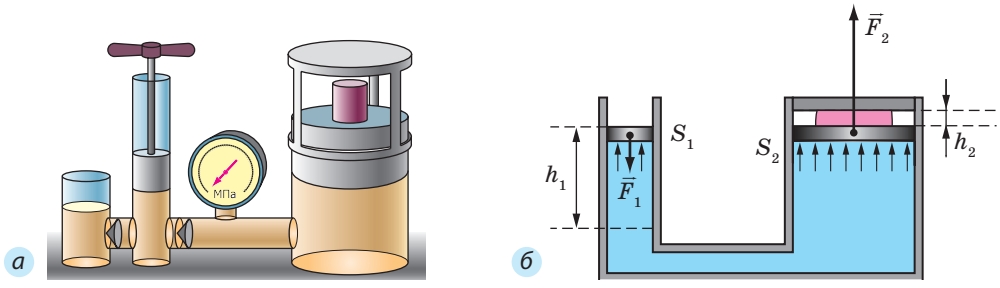


Рис. 23.7. Гідравлічний прес дає можливість отримати виграш у силі: діючи на малий поршень із площею S_1 меншою силою F_1, маємо змогу стискати (пресувати) тіло, розташоване над поршнем із площею S_2, більшою силою F_2

www.e-ranok.com.ua

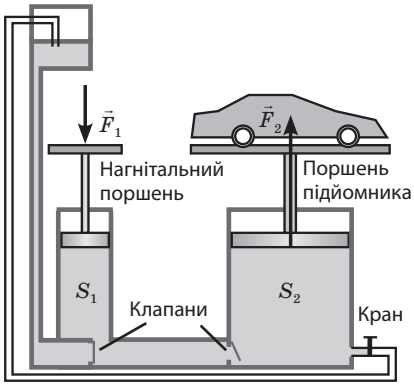


Рис. 23.8. Гідравлічний підйомник — приклад гідравлічної машини

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: *чим більше різнитимуться між собою площі поршнів, тим більший виграш у силі будемо мати* (рис. 23.7).

За таким принципом працюють й інші гідравлічні інструменти та пристрої. Так, гідравлічний підйомник дозволяє, приклавши невелику силу, підняти важкий автомобіль (рис. 23.8), гідравличне гальмо дозволяє зупинити автомобіль, приклавши незначну силу тиску ноги, тощо.

Спробуйте за рис. 23.8 розібратися, як працює гідравлічний підйомник.

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 газу.

Через плинність рідина створює тиск на дно і на бічні стінки посудини та на будь-яке тіло, занурене в цю рідину.

Тиск, створюваний на нерухому рідину, передається рідиною однаково в усіх напрямках (закон Паскаля).

Властивість рідин передавати тиск 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: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Контрольні запитання

1. Як можна довести на досліді, що гази 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 їхньої температури? Відповідь поясніть. **5.** Чому рідина створює тиск

www.e-ranok.com.ua

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. **8.** Що таке гідравлічний прес і де його застосовують?



Вправа № 23

1. Як буде змінюватися тиск у повітряній кульці, якщо її спочатку надути, а потім міцно притиснути до твердого предмета? Чи можна передбачити, в 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 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. 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.
9. Які зміни відбудуться з поверхнею рідини в запаяній зверху трубці (рис. 2), якщо трубку охолоджувати? нагрівати?
10. Під дією сили 300 Н малий поршень гідравлічної машини опустився на 4 см, а великий піднявся на 1 см. Визначте силу, що діяла на великий поршень.
11. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся, як працюють деякі гідравлічні пристрої (наприклад, гідравлічна система гальмування автомобіля, гідравлічні ножиці, пневматичні оприскувачі для боротьби із сільськогосподарськими шкідниками). Підготуйте повідомлення про один із пристроїв.



Рис. 1

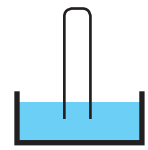


Рис. 2

www.e-ranok.com.ua

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?

Фізика і техніка в Україні



Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України (Київ), заснований у 1918 р., — найпотужніший в Україні та відомий у світі дослідницький центр. 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.

§ 24. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК



Рис. 24.1. Сила тиску води в шкіряній подушці є достатньою, щоб утримувати дорослу людину

На рис. 24.1 зображений сучасник Блеза 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? Відповісти на це та багато інших запитань ви зможете, ознайомившись із цим параграфом.

1 Отримуємо формулу для розрахунку гідростатичного тиску

Ви вже знаєте, що внаслідок притягання до Землі та 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 занурене в неї тіло.

Тиск нерухомої рідини називають **гідростатичним тиском.**

www.e-ranok.com.ua

Визначимо гідростатичний тиск на дно посудини. Щоб спростити отримання формули, візьмемо циліндричну посудину з площею дна S. Нехай у посудину налита рідина густиною ρ, а висота стовпа рідини в посудині дорівнює h (рис. 24.2).

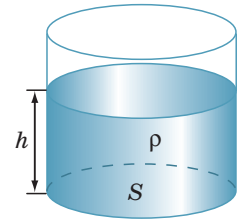


Рис. 24.2. Через притягання Землі рідина створює тиск на дно посудини

Щоб визначити тиск, який створює рідина на дно посудини, слід силу F, що діє на дно, поділити на площу S дна:

$$p = \frac{F}{S}.$$

У даному випадку сила F, яка створює тиск на дно посудини, — це вага P рідини. Оскільки рідина в посудині нерухома, то вага рідини дорівнює добутку маси m рідини на прискорення вільного падіння g:

$$F = P = mg.$$

Масу рідини визначимо через об'єм і густину рідини: $m = \rho V$; об'єм налитої 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, отримаємо:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho gSh}{S} = \rho gh.$$

Отже, маємо **формулу для визначення гідростатичного тиску** — *тиску, який чинить нерухома рідина:*

$$p = \rho gh$$



Рис. 24.3. У 1648 р. Блез Паскаль склянкою води розірвав бочку

Як бачимо, *гідростатичний тиск залежить тільки від густини рідини та висоти стовпа рідини в посудині.*

2 Проводимо дослідження та робимо висновки

Залежність гідростатичного тиску від висоти стовпа рідини вперше продемонстрував *Блез Паскаль*. Узявши бочку, до країв заповнену водою, дослідник герметично закрив її кришкою зі вставленою довгою тонкою трубкою. Піднявшись на балкон другого поверху житлового будинку, Паскаль 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. 24.3).

www.e-ranok.com.ua

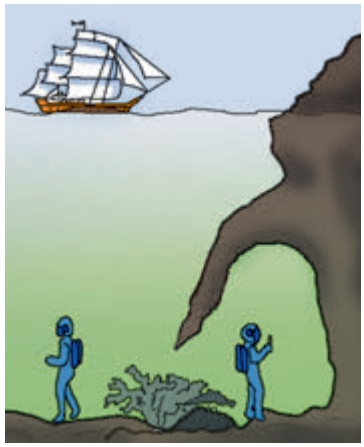


Рис. 24.4. Тиск води на обох водолазів є однаковим, оскільки вони перебувають на одному рівні

Зверніть увагу! Згідно із законом Паскаля *тиск рідини передається в усіх напрямках*, тож за формулою $p = \rho g h$ можна також визначити тиск, який створює шар рідини висотою h на *будь-яке тіло, занурене в цю рідину на дану глибину*, а також *тиск на стінки посудини*.

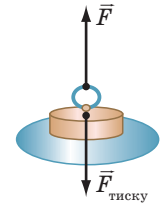
Із закону Паскаля та формули гідростатичного тиску також випливає, що тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні* є однаковим.

Розгляньте рис. 24.4. 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 Учимося розв'язувати задачі

Задача. На дні басейну розташований круглий отвір, закритий пробкою радіусом 5 см. Яку силу потрібно прикласти до пробки, щоб витягти її з отвору, якщо висота води в басейні дорівнює 2 м? Масою пробки та силою тертя між пробкою й отвором знехтуйте.

Аналіз фізичної проблеми. Витягти пробку заважає сила тиску води в басейні. Масу пробки та силу тертя враховувати не треба, тому сила, потрібна для витягання пробки з отвору, за значенням має бути не менша, ніж сила гідростатичного тиску води на пробку: $F = F_{\text{тиску}}$ (див. рисунок).



Дано:
$r = 5\ \text{см} = 0{,}05\ \text{м}$
$h = 2\ \text{м}$
$\rho = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$g = 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
F — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За означенням тиску:

$$p = \frac{F_{\text{тиску}}}{S} \Rightarrow F_{\text{тиску}} = pS.$$

Тут $p = \rho g h$ — гідростатичний тиск; $S = \pi r^2$ — площа круга. Підставивши вирази для p і S у формулу для $F_{\text{тиску}}$, отримаємо:

$$F_{\text{тиску}} = \rho g h \cdot \pi r^2.$$

Оскільки $F = F_{\text{тиску}}$, остаточно маємо: $F = \rho g h \cdot \pi r^2$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

* Рівнем називають будь-яку горизонтальну поверхню.

www.e-ranok.com.ua

$$[F] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \text{Н};\ F = 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}05)^2 = 157\ \text{(Н)}.$$

Відповідь: слід прикласти силу, не меншу ніж 157 Н.

Підбиваємо підсумки

Унаслідок притягання до Землі рідина створює тиск на дно та стінки посудини, а також на будь-яке занурене в рідину тіло. Тиск p нерухомої рідини називається гідростатичним тиском і залежить тільки від густини ρ рідини та висоти h стовпа рідини. Гідростатичний тиск обчислюють за формулою $p = \rho g h$.

Тиск усередині нерухомої 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 стовпа рідини? від густини рідини? **4.** Опишіть дослід Б. Паскаля, за допомогою якого він продемонстрував залежність гідростатичного тиску води від висоти її стовпа. **5.** Чому тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим?

Вправа № 24

1. Тиск води на дно посудини в точці A дорівнює 200 Па (рис. 1). Який тиск на дно створює вода в точці B? в точці C?

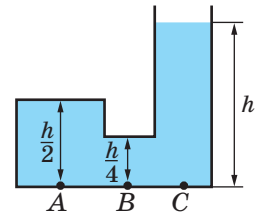


Рис. 1

2. Деякі любителі фрідайвінгу можуть занурюватися на глибину 100 м. Визначте, який найбільший гідростатичний тиск діє на пірнальників під час такого занурення.

3. Якщо занурити палець у склянку з водою, не торкаючись її дна, чи зміниться сила тиску води на дно склянки? Якщо зміниться, то як?

4. На якій глибині тиск у мастилі становить 8 кПа?

5. У дві посудини налили до одного рівня однакову рідину (рис. 2). Порівняйте тиски та сили тисків на дно посудин. Сформулюйте висновок.

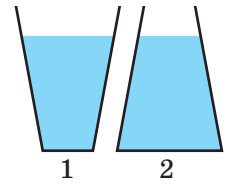


Рис. 2

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?

www.e-ranok.com.ua

8. Якою є маса дослідника (див. рис. 24.1), 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 нахиляючи трубку, вигнати майже всю воду назовні?

9. Визначте силу, яка тисне на дно бочки в досліді Паскаля (див. рис. 24.3), якщо висота води в трубці становить 4 м, а діаметр і висота бочки дорівнюють 0,8 м. Визначте масу тіла, яке тиснутиме на дно бочки саме з такою силою, якщо площа дотику тіла і дна дорівнюватиме площі дна.

10. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтесь, на яку глибину занурюються аквалангісти та водолази, опускаються батисфери, підводні човни й батискафи. Визначте гідростатичний тиск на цих глибинах. Підготуйте повідомлення.

§ 25. 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 деякі важливі властивості цього тиску та навчимося його вимірювати.

1 Згадуємо відомості про атмосферу

Ви добре знаєте, що наша планета Земля оточена повітряною оболонкою. Повітряну оболонку Землі називають *атмосферою* (у перекладі з грецької — «пара» і «сфера») (рис. 25.1).



Рис. 25.1. Атмосфера починається біля поверхні Землі й простягається в космічний простір приблизно на 100 км

Чому ж існує повітряна оболонка Землі?

Повітря, як і будь-які інші речовини, складається з молекул і атомів. Молекули й атоми мають масу, тому вони притягуються до Землі завдяки дії сили тяжіння.

Разом із тим величезна кількість молекул газів, що складають атмосферу, перебувають у неперервному хаотичному русі — весь час вони зіштовхуються, відскакують одна від одної, змінюють значення та напрямок свого руху... Через це вони не падають на Землю, а перебувають у просторі біля неї.

www.e-ranok.com.ua

2 Доводимо існування атмосферного тиску

За підрахунками, атмосфера Землі має масу 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, згідно із законом Паскаля, створює тиск на поверхню Землі й на всі тіла поблизу неї. Це і є ***атмосферний тиск*** $(p_{\text{атм}})$.

Атмосферний тиск зумовлює існування всмоктування — підняття рідини за поршнем (у насосах, шприцах тощо) (рис. 25.2). 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, який рухається вгору, залишалось одним із доказів відомого принципу, автором якого був *Аристотель*, що «природа боїться порожнечі». Проте в середині XVII ст. у ході спорудження фонтанів у Флоренції зіткнулися з незрозумілим — виявилося, що вода, яку всмоктують насоси, не піднімається вище за 10,3 м (рис. 25.3). *Ґалілео Ґалілей* запропонував розібратися в цьому своїм учням — *Евангелісті Торрічеллі* (1608–1647) і *Вінченцо Вівіані* (1622–1703). Розв'язуючи цю проблему, Торрічеллі вперше довів існування атмосферного тиску.

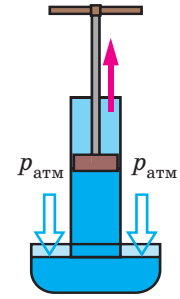


Рис. 25.2. Рідина піднімається за поршнем, тому що на вільну поверхню рідини в посудині тисне атмосфера

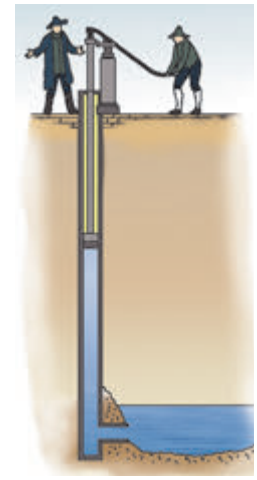


Рис. 25.3. У 1638 р. не вдалося прикрасити сади Флоренції фонтанами, оскільки вода не піднімалася вище за 10,3 м

3 Вимірюємо атмосферний тиск

Щоб загадкова межа підняття рідини була значно меншою за 10,3 м, Е. Торрічеллі здогадався замінити воду рідиною зі значно більшою густиною. Скляну трубку завдовжки близько метра, запаяну з одного кінця, Торрічеллі доверху наповнив ртуттю. Потім, щільно закривши отвір, перевернув трубку, опустив її в чашу із ртуттю і відкрив отвір — частина рідини з трубки вилилася в чашу. У трубці залишився стовп ртуті приблизно 760 мм завишки, а над ртуттю утворилася порожнеча (рис. 25.4).

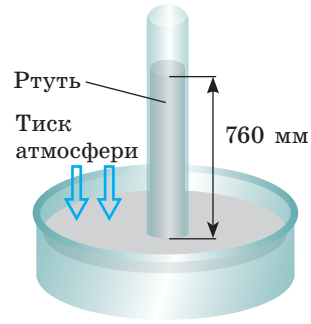


Рис. 25.4. Модель трубки Торрічеллі: висота h стовпа ртуті в трубці завжди становить близько 760 мм

www.e-ranok.com.ua

Провівши численні досліди, Торрічеллі встановив: висота стовпа ртуті, що залишається в трубці, не залежить ані від довжини трубки, ані від її діаметра. Висота трохи змінюється тільки залежно від погоди.

Торрічеллі також знайшов відповідь на те, чим визначається саме така висота стовпа ртуті.

Однорідна рідина в трубці та чаші не рухається, і це означає, що, згідно із законом Паскаля, *тиск на поверхню ртуті з боку атмосфери і гідростатичний тиск стовпа ртуті в трубці є однаковими*. Тобто тиск стовпа ртуті висотою 760 мм дорівнює атмосферному.

Тиск, який створює стовп ртуті висотою 760 мм, називають **нормальним атмосферним тиском**:

$$p_{\text{атм. н}} = 760 \text{ мм. рт. ст.}$$

У даному випадку *за одиницю атмосферного тиску* прийнято **один міліметр ртутного стовпа** (1 мм рт. ст.).

Подамо *нормальний атмосферний тиск в одиницях СІ* — **паскалях**. Із матеріалів § 24 ви вже знаєте, що гідростатичний тиск обчислюють за формулою: $p = \rho g h$.

Ураховуючи, що густина ртуті $\rho_{\text{рт}} = 13\,600$ кг/м^3, $g = 9{,}8$ Н/кг, а висота стовпа ртуті $h = 0{,}76$ м, маємо:

$$p_{\text{атм. н}} = \rho_{\text{рт}} g h = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9{,}8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0{,}76 \text{ м} =$$

$$= 101\,325 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 101\,325 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа}.$$

Зверніть увагу: виражаючи атмосферний тиск у паскалях, для розрахунків слід брати $g = 9{,}8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

У фізиці й техніці також використовують *позасистемну одиницю атмосферного тиску* — **фізичну атмосферу** (1 атм).

Одна фізична атмосфера дорівнює нормальному атмосферному тиску: $1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа}$.

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, які діють без допомоги рідини* (рис. 25.5).

Головна частина барометра-анероїда — легка й пружна порожня металева коробочка *1* з гофрованою (ребристою) поверхнею. Повітря в коробочці

www.e-ranok.com.ua

перебуває за зниженого тиску. До стінки коробочки прикріплена стрілка *2*, насаджена на вісь *3*. Кінець стрілки пересувається по шкалі *4*, розміченій у міліметрах ртутного стовпа або в паскалях. Усі деталі барометра розміщені в корпусі, спереду закритому склом.

Зміна атмосферного тиску приводить до зміни сили, що стискає стінки коробочки. Відповідно, змінюється 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.

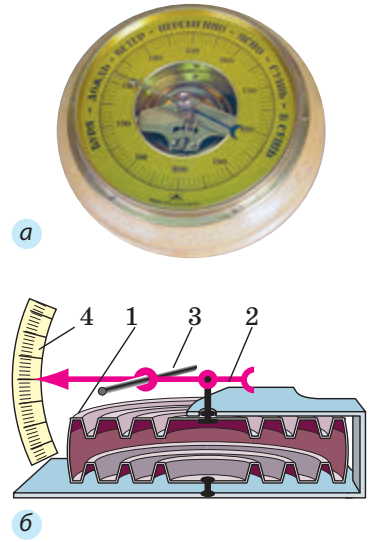


Рис. 25.5. Барометр-анероїд:
а — зовнішній вигляд;
б — будова

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.

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. 25.6).



Рис. 25.6. Альтиметр на руці парашутиста

Підбиваємо підсумки

Повітря має масу. Через притягання Землі верхні шари повітряної оболонки Землі — атмосфери — тиснуть на нижні. Тиск повітря на поверхню Землі та 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 використовують барометри-анероїди 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.

www.e-ranok.com.ua

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 означення нормального атмосферного тиску. Подайте нормальний атмосферний тиск у паскалях. **7.** Опишіть конструкцію та принцип дії барометра-анероїда. **8.** Які переваги барометрів-анероїдів зумовили їх широке використання? **9.** Чому за допомогою барометрів можна прогнозувати погоду та вимірювати висоту?

Вправа № 25

1. Чи діє на рибок в акваріумі атмосферний тиск? Чому?
2. Чому вода піднімається, якщо її втягувати через соломинку?
3. Чому неможливо розрахувати атмосферний тиск за формулою $p = \rho g h$, де ρ — густина повітря, а h — висота атмосфери?
4. Подайте тиск 1 мм рт. ст. у паскалях.
5. Подайте тиск 550 мм рт. ст. у кілопаскалях; тиск 93 324 Па — у міліметрах ртутного стовпа.
6. Поясніть, чому зі збільшенням висоти над рівнем моря атмосферний тиск зменшується.
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 додатковими джерелами інформації і знайдіть відомості про роль атмосферного тиску в житті людей і тварин. Підготуйте стисле повідомлення.
9. Згадайте, чому рідини та гази створюють тиск. У чому особливості цього тиску?

Експериментальні завдання

1. Знайдіть у додаткових джерелах описи цікавих дослідів, що доводять існування атмосферного тиску. Виконайте деякі з них, підготуйте повідомлення або 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 в рукавичку руку (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.

www.e-ranok.com.ua

§ 26. 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 із трубок наливати воду, то вода перетікатиме в другу. Коли рух води припиниться, вода в обох трубках (обох колінах сполучених посудин) установиться на одному рівні (рис. 26.1, *а*). Якщо нахиляти або піднімати одне з колін, то вода перетікатиме з коліна, розташованого вище, доти, доки рівні води в обох колінах не зрівняються (рис. 26.1, *б*).

Отже, 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 й у будь-якій кількості сполучених посудин — незалежно від того, яку форму вони мають і як розташовані в просторі (рис. 26.2).

А от якщо в праве і ліве коліна сполучених посудин налити рідини з різними густинами, наприклад гас і воду, результат буде іншим (рис. 26.3). Дійсно, на рівні CD тиск стовпчиків рідин у посудинах однаковий:

$$p_C = p_D, \text{ або } \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

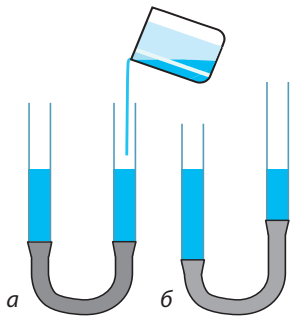


Рис. 26.1. У відкритих сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні



Рис. 26.2. Незалежно від форми відкритих сполучених посудин рівень рідини в них є однаковим

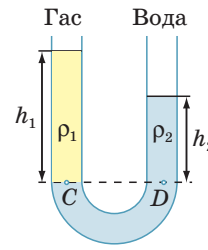
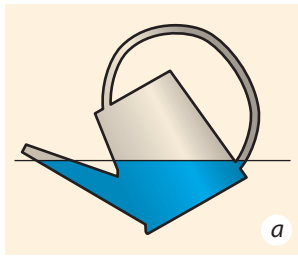
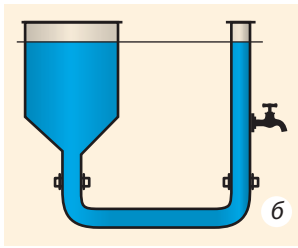


Рис. 26.3. У відкритих сполучених посудинах рівень рідини меншої густини встановлюється на більшій висоті ($\rho_1 < \rho_2$, $h_1 > h_2$)

www.e-ranok.com.ua





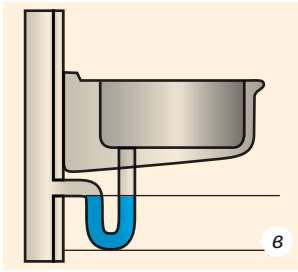


Рис. 26.4. Застосування сполучених посудин у побуті: *а* — лійка; *б* — водогін; *в* — водяний затвор у зливі мийки

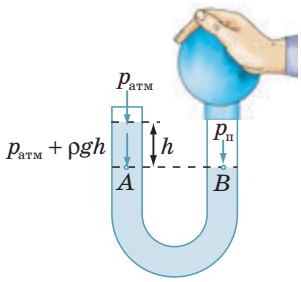


Рис. 26.5. Різниця атмосферного тиску $p_{атм}$ і тиску повітря $p_п$ компенсується тиском стовпчика рідини висотою h

Після скорочення на g отримуємо: $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$. Отже, якщо $\rho_1 < \rho_2$, то $h_1 > h_2$.

Звідси маємо ще одну **властивість сполучених посудин:**

У відкритих сполучених посудинах стовпчик нерухомої рідини з меншою густиною буде вищим, ніж стовпчик нерухомої рідини з більшою густиною. Відношення висот стовпчиків рідин є оберненим відношенню їхніх густин:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

Сполучені посудини широко застосовують у побуті, медицині, техніці, будівництві. Шлюзи на каналах і річках, водогони, водомірні трубки на парових котлах, артезіанські колодязі, фонтани, чайники, лійки, крапельниці — все це приклади сполучених посудин.

Розгляньте рис. 26.4 і спробуйте пояснити принцип дії деяких із цих пристроїв.

2 Виготовляємо відкритий рідинний манометр

На праве коліно U-подібної трубки, в яку налито однорідну рідину, надінемо гумову грушу і злегка її стиснемо. Рідина в трубці встановиться таким чином, що висота стовпчика рідини в правому коліні трубки буде меншою, ніж у лівому, на h (рис. 26.5).

Визначимо тиск повітря $p_п$ у правому коліні трубки. На рівні AB тиск у рідині однаковий ($p_A = p_B$). У точці B це буде тиск $p_п$ — тиск повітря в груші, у точці A — атмосферний тиск $p_{атм}$ плюс гідростатичний тиск стовпчика рідини висотою h. Отже, отримуємо:

$$p_п = p_{атм} + \rho gh\,.$$

Таким чином, за допомогою U-подібної трубки, заповненої однорідною рідиною (відомої густини ρ), і лінійки, що дозволяє виміряти різницю рівнів рідини в колінах трубки (h), можна визначити тиск повітря (або іншого газу) в груші.

Відповідний прилад має назву *відкритий рідинний манометр* (рис. 26.6).

www.e-ranok.com.ua

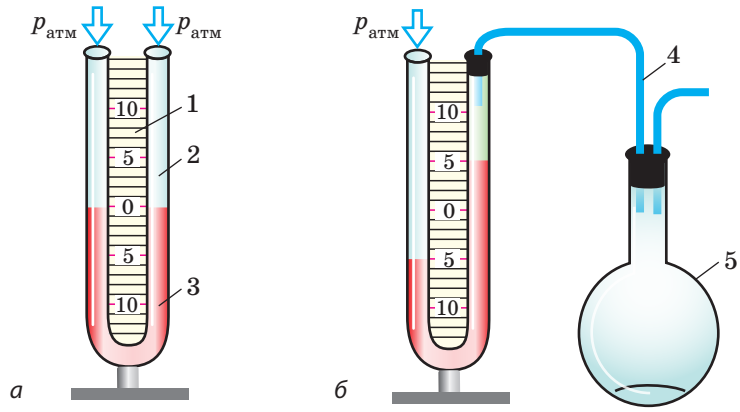


Рис. 26.6. U-подібна трубка, яка наповнена рідиною і має шкалу, — відкритий рідинний манометр

Манометр — це прилад для вимірювання тиску рідин і газів.

Відкритий рідинний манометр (рис. 26.6, *а*) складається з лінійки *1*, до якої приєднана U-подібна трубка *2*. Трубка заповнена підфарбованою рідиною *3* так, що рівень рідини розташований на позначці 0.

Під час вимірювань (рис. 26.6, *б*) одне коліно трубки сполучається з атмосферою, а друге за допомогою шланга *4* — з колбою *5*, тиск газу в якій необхідно виміряти.

Наприклад, на рис. 26.6, *б* різниця рівнів підфарбованої рідини у сполучених посудинах становить 10 см ($h = 0{,}1$ м). Якщо вважати, що в трубці міститься підфарбована вода, то це означає, що тиск газу в колбі *5* менший від атмосферного тиску на 980 Па:

$$\rho_{води} gh = 1000 \frac{кг}{м^3} \cdot 9{,}8 \frac{Н}{кг} \cdot 0{,}1\,м = 980\,Па.$$

Замінюємо рідинний манометр металевим

Рідинний манометр не завжди є зручним у використанні: необхідно готувати його до вимірювань (наливати рідину до потрібного рівня), здійснювати додаткові обчислення. Тому в техніці використовують *металеві деформаційні манометри* (рис. 26.7).

Основний елемент металевого деформаційного манометра — гнучка дугоподібна трубка *1*, один кінець якої (*A*) є запаяним. Другий кінець трубки (*B*) сполучають з резервуаром, де вимірюють тиск. Принцип дії цих манометрів такий. Якщо тиск газу всередині трубки більший за

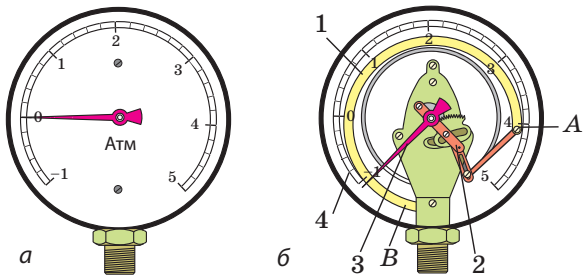


Рис. 26.7. Металевий деформаційний манометр: *а* — загальний вигляд; *б* — будова: трубку *1* за допомогою передавального механізму *2* з'єднано зі стрілкою *3*. Тиск визначають за шкалою *4*

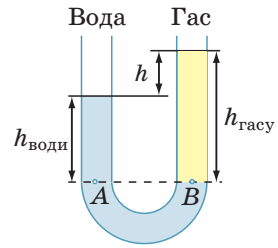
www.e-ranok.com.ua

атмосферний, то гнучка трубка розпрямляється і її рух передається через механізм *2* до стрілки *3*, що рухається 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 проградуйована в атмосферах або паскалях.

Зверніть увагу! Манометр завжди показує, на скільки вимірюваний тиск більший або менший, ніж атмосферний.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. У праве коліно відкритої U-подібної трубки, яка містила воду, налили шар гасу висотою 12,5 см (див. рисунок). Визначте різницю рівнів води і гасу в правому і лівому колінах U-подібної трубки. Гас і вода не змішуються.



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 необхідно знати їхні густини. Густини води та гасу дістанемо з таблиці. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

$h_{гасу} = 12{,}5\ \text{см} = 0{,}125\ \text{м}$

$\rho_{води} = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\rho_{гасу} = 800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Знайти:

h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. Різниця висот стовпчиків гасу і води: $h = h_{гасу} - h_{води}$.

Визначимо висоту стовпчика води.

Знайдемо тиск у точках A і B:

$$p_A = p_{атм} + \rho_{води} g h_{води};\ p_B = p_{атм} + \rho_{гасу} g h_{гасу}.$$

Оскільки $p_A = p_B$, то маємо:

$$p_{атм} + \rho_{води} g h_{води} = p_{атм} + \rho_{гасу} g h_{гасу},$$

$$\text{або}\ \ \rho_{води} g h_{води} = \rho_{гасу} g h_{гасу}.$$

Звідси знайдемо висоту стовпчика води:

$$h_{води} = \frac{\rho_{гасу} g h_{гасу}}{\rho_{води} g} = \frac{\rho_{гасу} h_{гасу}}{\rho_{води}}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення висоти стовпчика води:

$$\left[h_{води}\right] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м};\ \ h_{води} = \frac{800 \cdot 0{,}125}{1000} = 0{,}1\ \ (\text{м}).$$

Таким чином, різниця рівнів води і гасу в правому і лівому колінах трубки: $h = 12{,}5\ \text{см} - 10\ \text{см} = 2{,}5\ \text{см}$.

Відповідь: $h = 2{,}5$ см.

www.e-ranok.com.ua

Підбиваємо підсумки

Сполученими посудинами називають посудини, з'єднані між собою так, що між ними може перетікати рідина.

У відкритих сполучених посудинах різних форм і розмірів однорідна нерухома рідина встановлюється на одному рівні; якщо густини рідин у посудинах різні, то стовп рідини з меншою густиною є вищим за стовп рідини з більшою густиною.

Манометри — це прилади для вимірювання тиску рідин і газів. У відкритому рідинному манометрі тиск газу $p_г$ у посудині визначається за різницею h рівнів рідини в колінах приладу: якщо $p_г < p_{атм}$, то $p_г = p_{атм} - \rho gh$; якщо $p_г > p_{атм}$, то $p_г = p_{атм} + \rho gh$, де $p_{атм}$ — атмосферний тиск.

На практиці широко застосовують металеві деформаційні манометри.

Контрольні запитання

1. Наведіть приклади сполучених посудин. **2.** Сформулюйте основну властивість сполучених посудин. **3.** Як поводяться рідини різної густини, налиті в сполучені посудини? **4.** Що таке манометр? **5.** Як працює відкритий рідинний манометр? **6.** Опишіть будову та принцип дії металевого деформаційного манометра.

Вправа № 26

1. У рідинному манометрі міститься вода (рис. 1). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. Який тиск більший — атмосферний чи тиск у балоні?

2. На скільки відрізняється тиск у балоні (див. завдання 1) від атмосферного?

3. У деяких храмах Стародавньої Греції була розташована так звана «невичерпна чаша» (рис. 2). Поясніть за рисунком, як працювало це «диво».

4. У рідинному манометрі (рис. 3) міститься ртуть. Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. Який тиск у балоні, якщо атмосферний тиск дорівнює 100 кПа?

5. Складіть задачу, обернену до задачі, яку розглянуто в § 26, і розв'яжіть її.

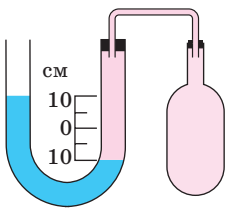


Рис. 1

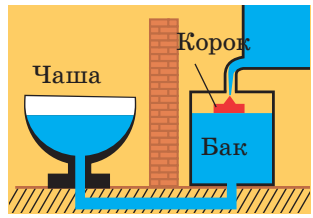


Рис. 2

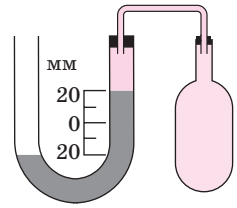


Рис. 3

www.e-ranok.com.ua

6. Яким є тиск газу в колбі *B* (рис. 4), якщо тиск газу в колбі *A* дорівнює 100 гПа?

7. Скористайтесь додатковими джерелами інформації і дізнайтеся про принцип роботи шлюзів. Уявіть, що ви оператор відповідної служби. Складіть систему команд для переведення судна через камери шлюзу (рис. 5). Дозволяється використовувати такі команди: відчинити (зачинити) ворота (1, 2, 3, 4); спустити воду з камери (I, II, III); запустити воду в камеру (I, II, III); перейти в камеру (I, II, III).



8. Визначте максимальну осадку річкового судна, що дістало пробоїну в дні, якщо матрос, маса якого дорівнює 80 кг, зміг перекрити доступ води, накривши отвір площею 200 см^2 пластиною і ставши на неї. Масу пластини не враховуйте.

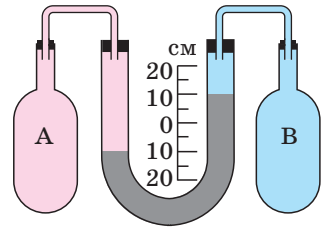


Рис. 4

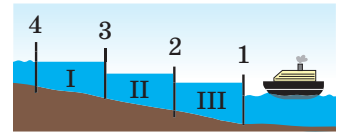
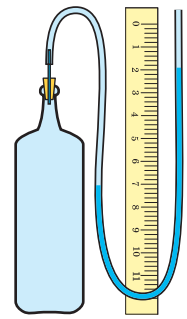


Рис. 5



Експериментальне завдання

«Манометр власноруч». Скориставшись прозорою еластичною трубкою та лінійкою, виготовте манометр, який вимірюватиме різницю тисків в атмосфері та пляшці (див. рисунок). Простежте зміну різниці тисків протягом тижня; зробіть висновок.



Фізика і техніка в Україні



Дніпрогес по праву можна вважати символом епохи. Завершення будівництва цієї найбільшої на той час (30-ті роки XX ст.) 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, в 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 «даху». 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.

www.e-ranok.com.ua

§ 27. 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 посунути з місця, легко підняти під водою? Чому корабель, що сів на мілину, не може самотужки зрушити з місця? Спробуємо розібратися!

1 Доводимо існування виштовхувальної сили

Підвісимо до коромисла терезів дві однакові кулі. Маси куль є рівними, отже, терези будуть зрівноважені (рис. 27.1, *а*). Підставимо під праву кулю порожню посудину (рис. 27.1, *б*). Наллємо в посудину воду і побачимо, що рівновага терезів порушиться (рис. 27.1, *в*), — якась сила намагається виштовхнути кулю з води.

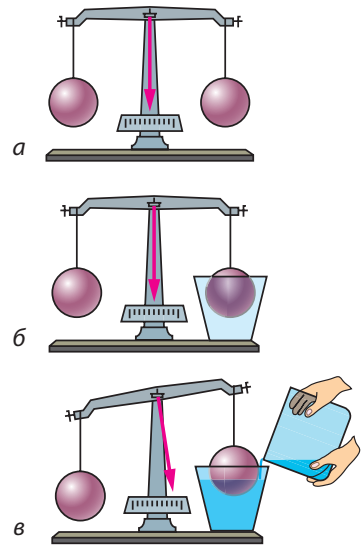


Рис. 27.1. На кулю у воді діє сила, напрямлена вгору

Звідки береться ця сила? Щоб розібратися, розглянемо занурений у рідину кубик. На нього з усіх боків діють сили гідростатичного тиску рідини (рис. 27.2).

Сили гідростатичного тиску $\vec{F}_3$ і $\vec{F}_4$, що діють на бічні грані кубика, є протилежними за напрямком і рівними за значенням, оскільки площі бічних граней однакові і ці 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 $\vec{F}_1$:

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{рід}} g h_1 S ,$$

де $p_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1$ — гідростатичний тиск рідини; 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

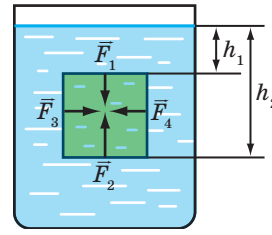


Рис. 27.2. Сили тиску $\vec{F}_3$ і $\vec{F}_4$, що діють на бічні грані кубика, зрівноважені $(F_3 = F_4)$. Сила тиску $\vec{F}_2$, яка діє на нижню грань кубика, більша за силу тиску $\vec{F}_1$, що діє на верхню грань $(F_2 > F_1)$

www.e-ranok.com.ua



Рис. 27.3. Айсберг плаває на поверхні води завдяки дії виштовхувальної (архімедової) сили

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 від виштовхувальної сили, що діє на те саме тіло в рідині, адже густина газу набагато менша від густини рідини.

Виштовхувальну силу, яка діє на тіло в рідині (рис. 27.3) або в газі, називають також **архімедовою силою** (на честь давньогрецького вченого *Архімеда*, який першим звернув увагу на її існування та визначив її значення).

2 Визначаємо архімедову силу

Визначимо значення архімедової (виштовхувальної) сили для кубика, зануреного в рідину (див. рис. 27.2).

Ми вже показали, що архімедова сила дорівнює різниці сил тисків рідини на нижню і верхню грані кубика:

$$F_{\text{арх}} = F_2 - F_1,$$

де $F_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1 S$ — сила тиску рідини на верхню грань кубика; $F_2 = \rho_{\text{рід}} g h_2 S$ — 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, $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g S h$.

Добуток площі S основи кубика на його висоту h — це об'єм V кубика: $V = Sh$, тож маємо формулу для розрахунку архімедової сили:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V.$$

Тут $\rho_{\text{рід}} V$ — це маса рідини в об'ємі кубика, тобто маса рідини, об'єм якої дорівнює об'єму кубика. Оскільки $\rho_{\text{рід}} V = m_{\text{рід}}$, то

$$F_{\text{арх}} = m_{\text{рід}} g = P_{\text{рід}}.$$

Архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі кубика: $F_{\text{арх}} = P_{\text{рід}}$.

www.e-ranok.com.ua

Ми розглянули випадок із кубиком, який був повністю занурений у рідину. Проте отриманий результат справджується для тіла будь-якої форми і у випадках, 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:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід (газу)}} g V_{\text{зан}},$$

де $F_{\text{арх}}$ — архімедова сила; $\rho_{\text{рід (газу)}}$ — густина рідини або газу; $V_{\text{зан}}$ — об'єм зануреної частини тіла.

Архімедова сила прикладена до центра зануреної частини тіла і напрямлена вертикально вгору (рис. 27.4).

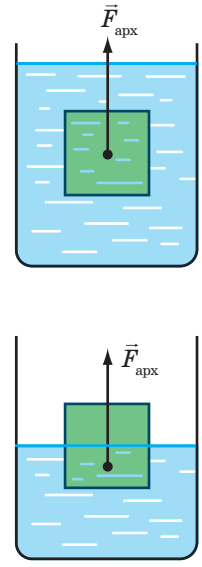


Рис. 27.4. Точка прикладання та напрямок архімедової сили

3 З'ясовуємо, чи завжди на тіло, занурене в рідину, діє архімедова сила

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 (рідиною). 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.

Треба зазначити: коли тіло плаває, його вага розподіляється на воду, що оточує всю поверхню тіла. Тому під час плавання вам здається, що ви втратили вагу. Такі комфортні умови підтримування важкого тіла зумовили те, що внаслідок еволюції наймасивніші істоти на Землі мешкають в океані (рис. 27.5).



Рис. 27.5. Найбільша тварина на нашій планеті — кит, маса якого може сягати 150 т, а довжина — 35 м

Саме архімедова сила допомагає піднімати у воді важкі камені або інші предмети, адже частина сили тяжіння, що діє на ці тіла, зрівноважується не силою наших рук, а виштовхувальною силою.

www.e-ranok.com.ua

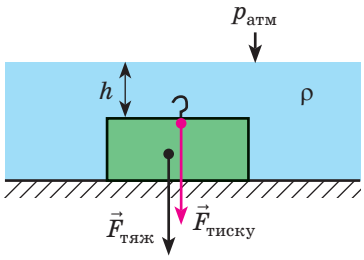


Рис. 27.6. На тіло, яке щільно прилягає до дна, архімедова сила не діє. Більш того, тіло додатково притискають до дна шар рідини та атмосфера: $F_{тиску} = pS$, де $p = p_{атм} + \rho gh$

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 (рис. 27.6). Слід зауважити, що зазначене явище може призвести й до трагедії: якщо підводний човен опуститься на глинисте дно і витіснить із-під себе воду, самотужки спливти 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. Визначте архімедову силу, що діє на брусок.

Аналіз фізичної проблеми. Для обчислення архімедової сили потрібно знати густину води та об'єм бруска. Об'єм бруска визначимо за його масою та густиною. Густини води та алюмінію дізнаємось із таблиць густин (с. 249).

Дано:

$m = 540\ г = 0{,}54\ кг$

$\rho_{ал} = 2700\ \frac{кг}{м^3}$

$\rho_{води} = 1000\ \frac{кг}{м^3}$

$g = 10\ \frac{Н}{кг}$

Знайти:

$F_{арх}$ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За законом Архімеда: $F_{арх} = \rho_{води} g V_б$.

З означення густини:

$$\rho_{ал} = \frac{m}{V_б} \Rightarrow V_б = \frac{m}{\rho_{ал}}.$$

Підставимо вираз для об'єму бруска у формулу для розрахунку архімедової сили: $F_{арх} = \frac{\rho_{води} g m}{\rho_{ал}}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$\left[F_{арх}\right] = \frac{\frac{кг}{м^3} \cdot \frac{Н}{кг} \cdot кг}{\frac{кг}{м^3}} = Н;$$

$$F_{арх} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 0{,}54}{2700} = 2\ (Н).$$

Відповідь: $F_{арх} = 2$ Н.

www.e-ranok.com.ua

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: $F_{арх} = \rho g V_{зан}$.

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 ще 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 № 27

1. Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на суцільні кульки в таких випадках:
а) однакові залізні кульки в посудині з водою (рис. 1);
б) однакові залізні кульки в посудинах із різною рідиною (рис. 2);
в) різні за розміром залізні кульки в посудині з водою (рис. 3);
г) однакові за розміром кульки з різних матеріалів у посудині з водою (рис. 4).

2. Щоб відірвати підводний човен від глинистого дна, водолази прокопують під ним тунелі. Для чого вони це роблять?

3. Сталева куля об'ємом 400 см^3 занурена в гас. Визначте архімедову силу, що діє на кулю.

4. На кулю, повністю занурену в ртуть, діє архімедова сила 136 Н. Визначте 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 тягар 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 — 38 Н. Визначте масу та густину бруска.

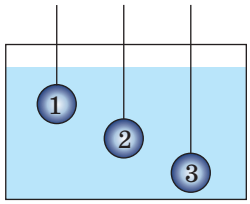


Рис. 1

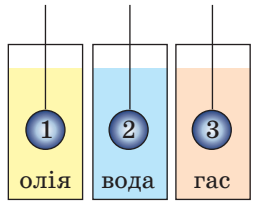


Рис. 2

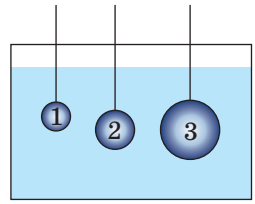


Рис. 3

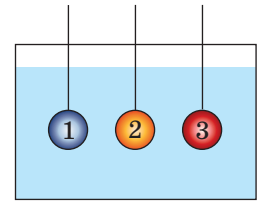


Рис. 4

www.e-ranok.com.ua

8. Чи діють на штучному супутнику Землі закон Паскаля і закон Архімеда?

9. На сталевому тросі, жорсткість якого становить 3 МН/м, рівномірно піднімають зі дна водойми затонулу статую об'ємом 0,5 м^3. Поки статуя була під водою, видовження троса дорівнювало 3 мм. Визначте масу статуї. Опором води знехтуйте.

10. Одна з легенд, які існували ще за життя Архімеда, розповідає про подію, що передувала відкриттю закону, який із часом був названий законом Архімеда. Скориставшись додатковими джерелами інформації, з'ясуйте, що це за легенда.

Чи можна вважати, що виріб виготовлений із чистого золота, якщо його вага в повітрі дорівнює 20 Н, а у воді — 18,7 Н?

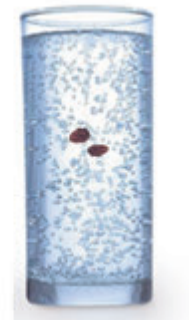


Експериментальне завдання

«Родзинки-танцівниці». Підготуйте обладнання: високу прозору посудину, газовану воду, кілька родзинок. Проведіть такий дослід.

1. Наповніть посудину газованою водою.
2. Киньте родзинки у воду (див. рисунок).
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?



§ 28. УМОВИ ПЛАВАННЯ 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.

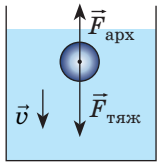
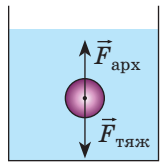
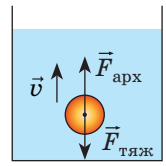
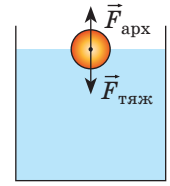


1 Обґрунтовуємо умови плавання тіл

Ви, звісно, можете навести скільки завгодно прикладів плавання тіл. Плавають кораблі та 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 кульок, виготовлених із різних матеріалів. Будемо по черзі занурювати тіла у воду, а потім відпускати їх без початкової швидкості. Далі залежно від густини тіла можливі різні варіанти (див. таблицю).

www.e-ranok.com.ua

Занурення	Плавання всередині рідини	Спливання	Плавання на поверхні рідини
			
$F_{тяж} > F_{арх}$	$F_{тяж} = F_{арх}$	$F_{тяж} < F_{арх}$	$F_{тяж} = F_{арх}$
$\rho_т > \rho_{рід}$	$\rho_т = \rho_{рід}$	$\rho_т < \rho_{рід}$	
			
Камінь тоне у воді	Риба плаває у воді на певній глибині	Підводний човен піднімається з великої глибини	Лебідь плаває на поверхні води

Варіант 1. **Занурення.** Тіло починає тонути і врешті опускається на дно посудини. З'ясуємо, чому це відбувається. На тіло діють дві сили:

1) сила тяжіння $F_{тяж} = m_т g = \rho_т V_т g$ (оскільки $m_т = \rho_т V_т$), напрямлена вертикально вниз;

2) виштовхувальна сила $F_{арх} = \rho_{рід} g V_т$, напрямлена вертикально вгору.

Тіло занурюється, а це означає, що сила, напрямлена вниз, є більшою:

$$F_{тяж} > F_{арх}.$$

Оскільки $F_{тяж} = \rho_т V_т g$, а $F_{арх} = \rho_{рід} g V_т$, то $\rho_т V_т g > \rho_{рід} g V_т$. Після скорочення на $g V_т$ маємо:

$$\rho_т > \rho_{рід}$$

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.

Спробуйте довести, що в цьому випадку густина тіла дорівнює густині рідини:

$$\rho_т = \rho_{рід}$$

www.e-ranok.com.ua

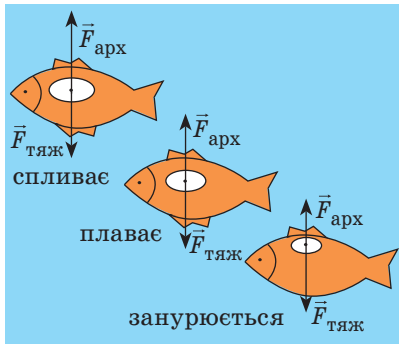


Рис. 28.1. Змінюючи об'єм плавального міхура, риба може занурюватися, спливати, плавати всередині рідини



Рис. 28.2. Молюск наутилус плаває завдяки здатності змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі

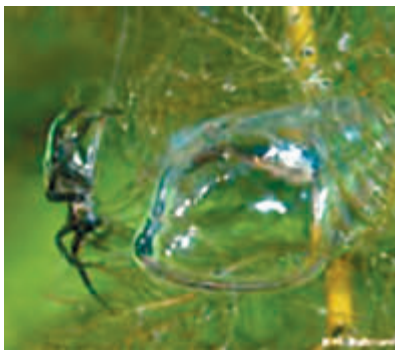


Рис. 28.3. Повітряна оболонка на черевці дозволяє водяному павукові підніматися з глибини на поверхню

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:

$$F_{тяж} < F_{арх} \Rightarrow \rho_т g V_т < \rho_{рід} g V_т, \text{ або:}$$

$$\rho_т < \rho_{рід}$$

Після того як тіло зупиниться на поверхні рідини, архімедова сила і сила тяжіння будуть зрівноважені:

$$F_{тяж} = F_{арх}.$$

Тіло спливає в рідині чи 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 середня густина близька до густини води. Щоб вільно рухатися в рідині, вони мають «керувати» середньою густиною свого тіла. Для цього водні мешканці використовують різні «прийоми». Наведемо приклади.

У риб із плавальним міхуром таке керування відбувається за рахунок зміни об'єму міхура (рис. 28.1).

Молюск наутилус (рис. 28.2), який живе в тропічних морях, може швидко спливати і знову опускатися на дно завдяки тому, що здатний змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі (молюск живе в закрученій спіраллю мушлі).

Поширений у Європі водяний павук (рис. 28.3) несе із собою в глибину повітряну оболонку на черевці — саме вона дає йому запас плавучості й допомагає повернутися на поверхню.

www.e-ranok.com.ua

3 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Чи буде плавати у воді мідна куля масою 445 г, усередині якої є порожнина об'ємом 450 см³?

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 середньої густини кулі слід визначити її об'єм та масу. Маса повітря в кулі є незначною порівняно з масою міді, тому $m_{\text{кулі}} = m_{\text{міді}}$. Об'єм кулі складається з об'єму мідної оболонки $V_{\text{міді}}$ та об'єму порожнини $V_{\text{порожн}}$. Об'єм мідної оболонки можна визначити, знаючи масу та густину міді.

Про густини міді та води дізнаємось із таблиць густин (с. 249).

Задачу доцільно розв'язувати в поданих одиницях.

Дано:

$m_{\text{міді}} = m_{\text{кулі}} = 445$ г

$V_{\text{порожн}} = 450$ см³

$\rho_{\text{міді}} = 8{,}9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

$\rho_{\text{води}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Знайти:

$\rho_{\text{кулі}}$ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За означенням густини: $\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}}$.

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.

Таким чином, $V_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{міді}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожн}}$.

Розв'яжемо задачу по діях.

1. Визначимо об'єм кулі:

$$V_{\text{кулі}} = \frac{445 \text{ г}}{8{,}9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}} + 450 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3 + 450 \text{ см}^3 = 500 \text{ см}^3.$$

2. Знаючи об'єм і масу кулі, визначимо її середню 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 від густини води, тому куля буде плавати на поверхні води.

Відповідь: так, куля буде плавати на поверхні води.



Підбиваємо підсумки

Тіло тоне в рідині або газі, якщо густина тіла є більшою за густину рідини або газу $(\rho_т > \rho_{\text{рід}})$. Тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо густина тіла дорівнює густині рідини або газу $(\rho_т = \rho_{\text{рід}})$. Тіло спливає в рідині та газі або плаває на поверхні рідини, якщо густина тіла є меншою за густину рідини або газу $(\rho_т < \rho_{\text{рід}})$.

www.e-ranok.com.ua

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 таких тіл. **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 № 28

1. Чи буде суцільний свинцевий брусок плавати в ртуті? у воді? в олії?

2. Розташуйте кульки, зображені на рис. 1, у порядку збільшення густини.

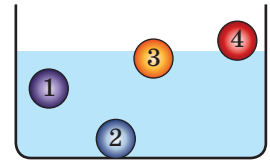


Рис. 1

3. Чи буде брусок масою 120 г і об'ємом 150 см^3 плавати у воді?

4. За рис. 2 поясніть, як підводний човен здійснює занурення та підняття на поверхню.

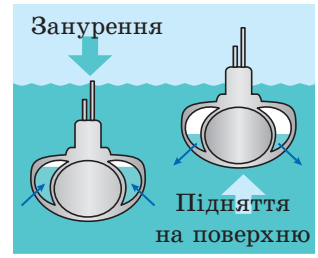


Рис. 2

5. Тіло плаває в гасі, повністю занурившись. Визначте масу тіла, якщо його об'єм становить 250 см^3.

6. У посудину налили три рідини, які не змішуються, — ртуть, воду, гас (рис. 3). Потім у посудину опустили три кульки: сталеву, пінопластову та дубову. Як розташувалися шари рідин у посудині? Визначте, де яка кулька. Відповіді поясніть.

7. Визначте об'єм зануреної у воду частини машини-амфібії та масу машини, якщо на неї 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 цього тіла, що перебуває над поверхнею води.

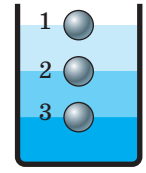


Рис. 3

А $\rho_т = 400$ кг/м^3	**1** 0
Б $\rho_т = 600$ кг/м^3	**2** 0,1
В $\rho_т = 900$ кг/м^3	**3** 0,4
Г $\rho_т = 1000$ кг/м^3	**4** 0,6
	5 0,9

10. Прилад для вимірювання густини рідин називається *ареометром*. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтесь про будову ареометра та принцип його дії. Напишіть інструкцію, як користуватись ареометром.

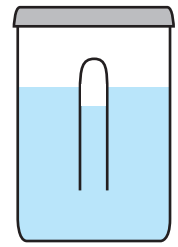
www.e-ranok.com.ua

11. Заповніть таблицю. Вважайте, що в кожному випадку 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	

Експериментальне завдання

«Картезіанський водолаз». Зробіть фізичну іграшку, ідею якої придумав французький вчений *Рене Декарт*. У пластикову банку, яка щільно закривається кришкою, налийте 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 банці. Щільно закрийте банку і натисніть на її бічні стінки. 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 рідини; плаває всередині рідини; за яких умов тіло тоне в рідині.

Обладнання: пробірка (або невелика склянка з-під ліків) з корком; нитка (або дротинка) завдовжки 20–25 см; посудина із сухим піском; вимірювальний циліндр, до половини наповнений водою; терези з важками; паперові серветки.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
1) Які сили діють на тіло, занурене в рідину?
2) За якою формулою визначають силу тяжіння?
3) За якою формулою визначають архімедову силу?
4) За якою формулою визначають середню густину тіла?

2. Визначте ціну поділки шкали вимірювального циліндра.

www.e-ranok.com.ua

3. Закріпіть пробірку на нитці так, щоб, тримаючи за нитку, можна було занурити пробірку у вимірювальний циліндр, а потім витягти її.
4. Згадайте правила роботи з терезами та підготуйте терези до роботи.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Дослід 1. З'ясування умов, за яких тіло тоне в рідині.

1) Виміряйте об'єм води V_1 у вимірювальному циліндрі.
2) Наповніть пробірку піском. Закрийте корок.
3) Опустіть пробірку у вимірювальний циліндр. У результаті ваших дій пробірка має опинитися на дні.
4) Виміряйте об'єм V_2 води і пробірки; визначте об'єм пробірки: $V_п = V_2 - V_1$.
5) Витягніть пробірку, 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 пробірка вільно плавала всередині рідини.
2) Повторіть дії, описані в пп. 5–6 досліду 1.

Дослід 3. З'ясування умов, за яких тіло плаває на поверхні рідини.

1) Відсипте з пробірки ще деяку кількість піску. Переконайтеся, що після повного занурення пробірки з піском у рідину вона спливає на поверхню рідини.
2) Повторіть дії, описані в пп. 5–6 досліду 1.

Номер досліду	Об'єм			Маса пробірки з піском m, г	Густина			Яке явище спостерігається
	рідини V_1, см³	рідини і пробірки V_2, см³	пробірки $V_п = V_2 - V_1$, см³		середня пробірки з піском $\rho_п$, г/см³	рідини $\rho_р$, г/см³	Порівняння $\rho_п$ і $\rho_р$ (=, <, >)	
1							$\rho_п$ $\rho_р$	Тіло тоне
2							$\rho_п$ $\rho_р$	Тіло плаває всередині рідини
3							$\rho_п$ $\rho_р$	Тіло спливає

www.e-ranok.com.ua

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліду:
   1) виконайте схематичне креслення, на якому зазначте сили, що діють на пробірку;
   2) визначте середню густину пробірки з піском.
2. Занесіть до таблиці результати обчислень, закінчіть її заповнення.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши результати, зробіть висновок, у якому зазначте, за якої умови: 1) тіло тоне в рідині; 2) тіло плаває всередині рідини; 3) тіло плаває на поверхні рідини.

Творче завдання

Запропонуйте два способи визначення середньої густини яйця. Запишіть план проведення кожного досліду.

§ 29. СУДНОПЛАВСТВО ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

Сталевий брусок у воді тоне, проте сталеві судна плавають. Нейлонова тканина падає в повітрі, а повітряні кулі, виготовлені із 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'ясовуємо, 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. 29.1). Чому?

Річ у тім, 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 від густини води. Тому човник плаває на поверхні води, лише трохи занурюючись.

Саме ця властивість лежить в основі конструкції всіх суден.

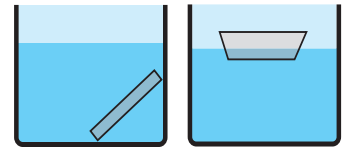


Рис. 29.1. Сталева пластинка тоне, а виготовлений з неї човник плаває

www.e-ranok.com.ua

Таким чином, *середня густина суден набагато менша за густину води, тому судна плавають на її поверхні, занурюючись на відносно невелику частину свого об'єму.*

2 З'ясовуємо характеристики суден



Рис. 29.2. Корпус суден фарбують у два кольори. Зазвичай корпус пофарбований так, що вище від ватерлінії він чорний або білий, а нижче — відповідно червоний або чорний.

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.

Глибину, на яку занурюється судно, називають *осадкою. Осадка судна змінюється 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 максимально допустиму осадку, за якої судно може безпечно плавати, називається *ватерлінією* (рис. 29.2). Коли судно повністю навантажене, то воно занурене у воду врівень із ватерлінією.

Вага води, яку витісняє судно, занурене до ватерлінії, тобто архімедова сила, що діє на повністю навантажене судно, називається **повною водотоннажністю судна**.

Нагадаємо: оскільки навантажене судно плаває на поверхні води, то архімедова сила, яка діє на нього, за значенням дорівнює силі тяжіння, що діє на судно з вантажем:

$$F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}} = \left(m_{\text{судна}} + m_{\text{вант}}\right) g .$$

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 отримаємо *максимальну вагу вантажу, який може взяти на борт це судно,* тобто визначимо *вантажність судна.*

Вантажність судна — максимальна вага вантажу, який судно може взяти на борт, — це різниця між водотоннажністю судна та його вагою.

Україна — морська держава. У країні є морський і річковий флот, а також порти, що мають велике економічне значення: Одеса, Бердянськ та інші; працюють суднобудівні та судноремонтні заводи (у Миколаєві, Києві, Херсоні, Одесі тощо).

www.e-ranok.com.ua

3 Дізнаємося, як здійснилася мрія людини літати

Люди вже давно використовують повітряні кулі (аеростати), що здіймаються завдяки заповненню їхньої оболонки гарячим повітрям або легким газом.

На повітряну кулю в повітрі діє виштовхувальна сила. *Середня густина повітряної кулі менша від густини повітря, тому виштовхувальна сила більша за силу тяжіння і куля піднімається.*

Різниця між виштовхувальною (архімедовою) силою і силою тяжіння становить **піднімальну силу** повітряної кулі.

Зараз повітряні кулі використовують для метеорологічних та інших досліджень, змагань, перевезень пасажирів, туристичних і пізнавальних подорожей.

Повітряні кулі, наповнені легким газом (переважно гелієм), називають *шарльєрами*. Останнім часом набули поширення повітряні кулі, наповнені гарячим повітрям, — сучасні *монгольф'єри* (рис. 29.3). Високу температуру повітря всередині кулі підтримують газові пальники, встановлені в горловині повітряної кулі.



Рис. 29.3. Повітряні кулі, які здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям, і зараз називають монгольф'єрами (на честь братів Монгольф'є із Франції, які у XVIII ст. зробили цій винахід)

Оскільки густина повітря з висотою зменшується, повітряні кулі не можуть піднятися на яку завгодно висоту.

Повітряні кулі піднімаються тільки до тієї висоти, де густина повітря дорівнює середній густині кулі з вантажем.

4 Учимося 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 максимально допустимої. Якою є площа перерізу судна на рівні ватерлінії?

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 витісненої води: $P_{\text{вант}} = P_{\text{вит. води}}$.

Унаслідок збільшення осадки судна лише на 20 см площа перерізу судна на рівні поверхні води змінилася незначно, тому об'єм додатково витісненої води дорівнює $V_{\text{вит. води}} = hS$, де h — збільшення осадки; S — площа перерізу судна на рівні ватерлінії, оскільки судно досягло максимальної осадки.

Порт річковий, тому густина води дорівнює 1000 кг/м^3.

Задачу слід розв'язувати в одиницях СІ.

www.e-ranok.com.ua

Дано:
$m_{\text{вант}} = 100\ \text{т} = 100\,000\ \text{кг}$
$h = 0{,}2\ \text{м}$
$\rho_{\text{води}} = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Знайти:
S — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

1. Визначимо масу додатково витісненої води.

За законом Архімеда: $P_{\text{вант}} = P_{\text{вит. води}}$.

$P_{\text{вант}} = m_{\text{вант}} g$, а $P_{\text{вит. води}} = m_{\text{вит. води}} g$, тому $m_{\text{вит. води}} = m_{\text{вант}} = 100\,000$ кг.

2. Визначимо об'єм додатково витісненої води:

$$V_{\text{вит. води}} = \frac{m_{\text{вит. води}}}{\rho_{\text{води}}} = \frac{100\,000\ \text{кг}}{1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 100\ \text{м}^3.$$

3. Площу S перерізу судна на рівні ватерлінії визначимо через об'єм витісненої води:

$$V_{\text{вит. води}} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{\text{вит. води}}}{h} = \frac{100\ \text{м}^3}{0{,}2\ \text{м}} = 500\ \text{м}^2.$$

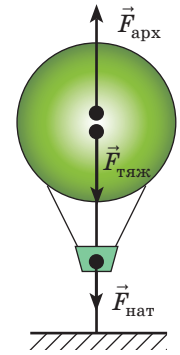
Відповідь: $S = 500\ \text{м}^2$.

Ми розв'язали задачу 1 по діях. Розв'яжіть ту саму задачу в загальному вигляді (отримайте загальну формулу, перевірте одиницю, знайдіть числове значення шуканої величини).

Задача 2. Об'єм повітряної кулі дорівнює 400 м^3. Куля натягує трос, яким прикріплена до причалу, із силою 800 Н. Після звільнення троса куля змогла піднятися на певну висоту. Якою є густина повітря на цій висоті, якщо густина повітря навколо причалу становить 1,3 кг/м^3?

Аналіз фізичної проблеми. Куля припинила підніматися тому, що на цій висоті її середня густина дорівнює густині повітря ($\rho_{\text{пов}}$). Щоб визначити середню густину кулі, слід 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; $\vec{F}_{\text{арх}}$ — архімедова сила, $\vec{F}_{\text{нат}}$ — сила натягу троса. Прикріплена куля не рухалась, тому сили, які діяли на неї, були скомпенсовані.



Задачу розв'язуватимемо по діях в одиницях СІ.

Дано:
$V_{\text{кулі}} = 400\ \text{м}^3$
$F_{\text{нат}} = 800\ \text{Н}$
$\rho_{0\,\text{пов}} = 1{,}3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$g = 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
$\rho_{\text{пов}}$ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. Сили, які діяли на прикріплену до причалу кулю, скомпенсовані, отже, $F_{\text{тяж}} + F_{\text{нат}} = F_{\text{арх}} \Rightarrow F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}$.

1. Визначимо архімедову силу, що діяла на прикріплену до причалу кулю:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{0\,\text{пов}} g V_{\text{кулі}};\ F_{\text{арх}} = 1{,}3\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 400\ \text{м}^3 = 5200\ \text{Н}.$$

2. Визначимо силу тяжіння, що діє на кулю:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}};\ F_{\text{тяж}} = 5200\ \text{Н} - 800\ \text{Н} = 4400\ \text{Н}.$$

www.e-ranok.com.ua

3. Визначимо масу кулі: $F_{\text{тяж}} = mg \Rightarrow m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g}$; $m = \frac{4400\ \text{Н}}{10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 440\ \text{кг}$.

4. За відомими масою та об'ємом кулі визначимо її середню густину:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m}{V_{\text{кулі}}};\ \rho_{\text{кулі}} = \frac{440\ \text{кг}}{400\ \text{м}^3} = 1{,}1\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

5. Густина повітря на висоті найбільшого підняття кулі дорівнює середній густині кулі, тому на цій висоті $\rho_{\text{пов}} = 1{,}1$ кг/м^3.

Відповідь: $\rho_{\text{пов}} = 1{,}1$ кг/м^3.

Контрольні запитання

1. Чому металеве судно плаває на поверхні води? **2.** Що таке осадка судна? **3.** Як максимально допустиму осадку позначають на корпусі судна? **4.** Дайте означення повної водотоннажності судна, вантажності судна. **5.** Як знайти піднімальну силу повітряної кулі? **6.** Чим обмежена максимальна висота підняття повітряної кулі?

Вправа № 29

1. У прісній воді судно витісняє воду об'ємом 15 000 м^3. Визначте: а) водотоннажність судна; б) вагу вантажу, якщо вага порожнього судна становить 5 000 000 Н.

2. Вантаж якої найбільшої маси можна перевезти на плоті, якщо маса плота дорівнює 100 кг, а його об'єм становить 1 м^3?

3. Повітряна кулька масою 100 г натягує нитку, на якій утримується, із силою 1 Н. Визначте: а) силу тяжіння, що діє на кульку; б) архімедову силу, що діє на кульку.

4. Чи зміниться виштовхувальна сила, яка діє на судно, коли судно перейде з річки в море? Чи зміниться осадка судна?

5. У річці судно витісняє воду об'ємом 20 000 м^3. На скільки зміниться об'єм води, яку витісняє судно, якщо воно перейде з річки до моря?

6. Густина повітря поблизу поверхні Землі дорівнює 1,29 кг/м^3. Якою має бути густина теплого повітря всередині повітряної кулі, щоб куля почала підійматися? Об'єм кулі становить 500 м^3, маса оболонки й вантажу — 150 кг.

7. Підготуйте доповідь або презентацію на одну з тем: «Історія повітроплавання», «Історія судноплавства».

Експериментальне завдання

«Човен». Виготовте з пластиліну човник і запустіть його в плавання (див. рисунок). За допомогою металевих монет (див. експериментальне завдання в § 15) визначте вантажність і водотоннажність вашого човника.



www.e-ranok.com.ua

Завдання для самоперевірки до розділу 3 «Взаємодія тіл. Сила». Частина II. Тиск. Закон Архімеда. Плавання тіл

У завданнях 1–7 виберіть одну правильну відповідь.

1. *(1 бал)* Тиск тіла на опору тим більший, чим:
а) більша вага тіла і більша площа опори;
б) більша вага тіла і менша площа опори;
в) менша вага тіла і менша площа опори;
г) менша вага тіла і більша площа опори.

2. *(1 бал)* За допомогою ручного насоса хлопчик накачав шини велосипеда. Тиск повітря в шинах збільшився внаслідок:
а) збільшення об'єму шин;
б) збільшення маси повітря в шинах;
в) зменшення густини повітря в шинах;
г) зменшення швидкості руху молекул повітря всередині шин.

3. *(1 бал)* Тиск рідини в посудині:
а) однаковий у всіх точках;
б) зростає зі збільшенням глибини;
в) зменшується зі збільшенням глибини;
г) зростає зі зменшенням густини рідини.

4. *(1 бал)* Заміна коліс на гусениці дозволяє значно підвищити прохідність трактора. Це відбувається внаслідок:
а) збільшення потужності двигуна;
б) збільшення маси трактора;
в) зменшення тиску трактора на ґрунт;
г) збільшення швидкості руху трактора.

5. *(1 бал)* Для вимірювання атмосферного тиску використовують:
а) ареометр; в) барометр;
б) динамометр; г) манометр.

6. *(1 бал)* На горизонтальній поверхні стола розташовані три суцільні кубики однакового розміру: мідний, алюмінієвий і чавунний. Який кубик створює на стіл найбільший тиск?
а) мідний; в) чавунний;
б) алюмінієвий; г) тиск усіх кубиків є однаковим.

7. *(2 бали)* Якою є висота шару гасу в бідоні, якщо гідростатичний тиск на дно бідона дорівнює 800 Па?
а) 1 мм; б) 1 см; в) 1 дм; г) 1 м.

8. *(2 бали)* Який тиск створює вістря цвяха на дошку, якщо площа вістря цвяха 0,6 мм^2, а сила, з якою він діє на дошку, дорівнює 30 Н?

9. *(2 бали)* Установіть відповідність між виразом для розрахунку фізичної величини та назвою цієї величини.

А	$m_{\text{тіла}}/V_{\text{тіла}}$	**1**	архімедова сила
Б	$\rho_{\text{рід}}gh$	**2**	сила тяжіння
В	$\rho_{\text{тіла}}gV_{\text{тіла}}$	**3**	гідростатичний тиск
Г	$\rho_{\text{рід}}gV_{\text{зан}}$	**4**	тиск твердого тіла
		5	густина тіла

www.e-ranok.com.ua

10. *(2 бали)* Розташуйте наведені пари значень густини ρ рідини та висоти h шару рідини в посудині в порядку зменшення гідростатичного тиску на дно посудини.

а) $\rho = 0{,}8$ г/см^3, $h = 2$ дм;
б) $\rho = 1{,}0$ г/см^3, $h = 0{,}5$ м;
в) $\rho = 710$ кг/м^3, $h = 25$ см;
г) $\rho = 900$ кг/м^3, $h = 150$ мм.

11. *(3 бали)* Місто Ла-Пас, яке вважають неофіційною столицею Болівії, розташоване на висоті 4500 м над рівнем моря. Це «найвища столиця» на земній кулі. Нормальний атмосферний тиск на цій висоті дорівнює 430 мм рт. ст. Подайте зазначений тиск у кілопаскалях.

12. *(3 бали)* Подайте в міліметрах ртутного стовпа тиск 136 кПа.

13. *(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.? Відповідь дайте в кілопаскалях.

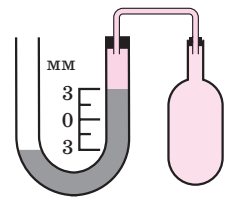


Рис. 1

14. *(3 бали)* На якій глибині тиск в озері дорівнює 250 кПа?

15. *(3 бали)* На малому поршні гідравлічної машини (рис. 2) розташований вантаж масою 10 кг, на великому — масою 160 кг. Діаметр малого поршня — 4 см. Яким є діаметр великого поршня, якщо поршні перебувають у рівновазі та їхніми масами можна знехтувати?

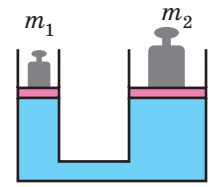


Рис. 2

16. *(3 бали)* На рис. 3 зображені сполучені посудини. Спочатку в ці посудини налили воду. Потім поверх води в ліве коліно налили шар гасу заввишки 20 мм. На скільки рівень гасу в посудині більший за рівень води? Гас із водою не змішуються.

17. *(4 бали)* Суцільний однорідний брусок густиною 0,7 г/см^3 плаває у воді так, що над водою перебуває тільки його частина об'ємом 60 см^3. Визначте об'єм бруска.

18. *(4 бали)* Якщо кульку, підвішену на нитці, повністю занурити у воду, то сила натягу нитки дорівнюватиме 3 Н. Якщо ж цю кульку повністю занурити в гас, то сила натягу нитки дорівнюватиме 3,2 Н. Визначте густину матеріалу, з якого виготовлена кулька.

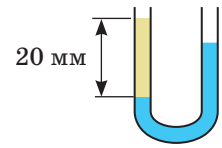


Рис. 3

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

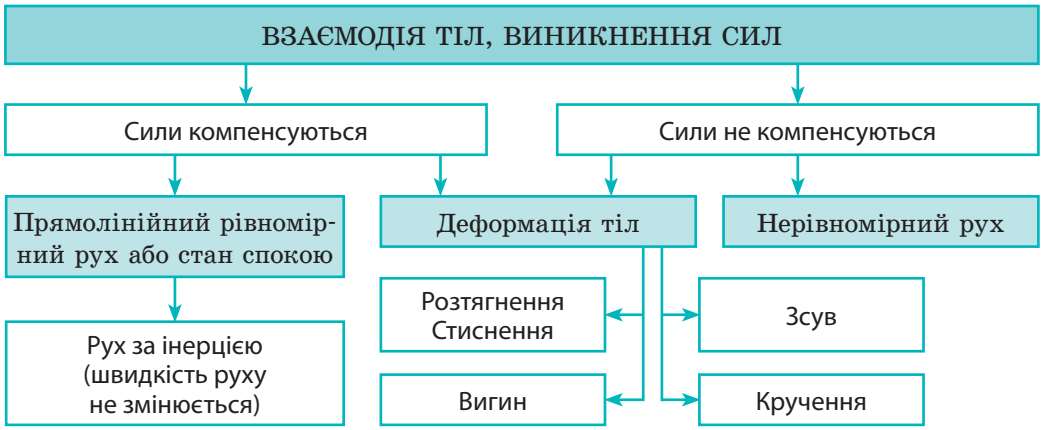


Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою ви знайдете на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання».

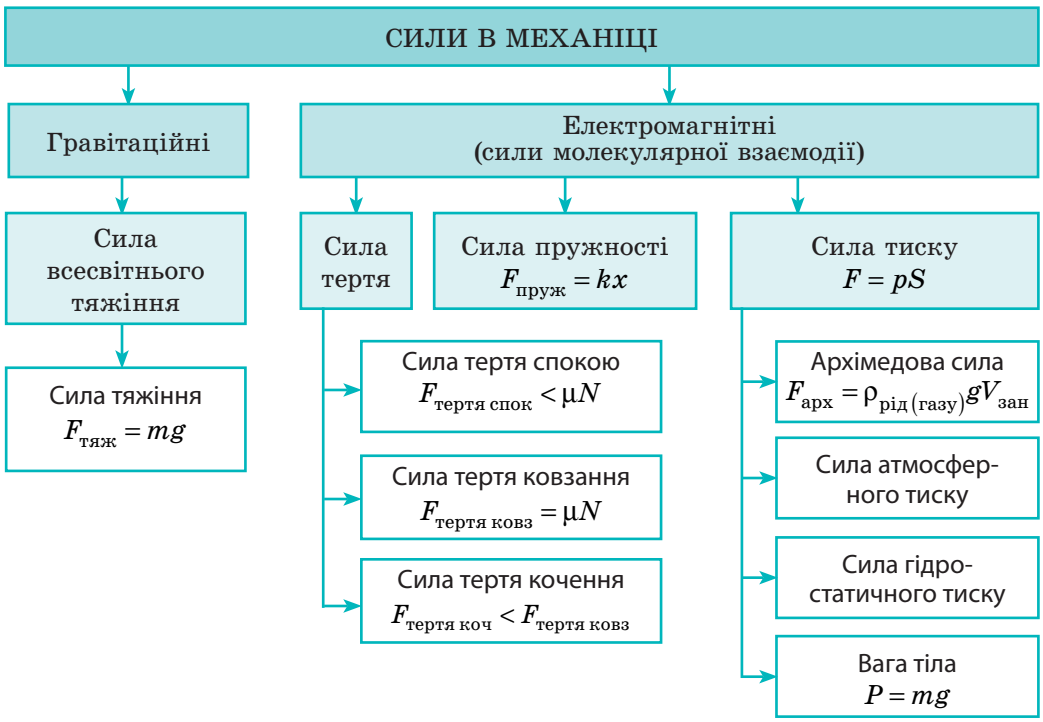
www.e-ranok.com.ua

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 «Взаємодія тіл. Сила»

1. Вивчаючи розділ 3, ви дізналися, що *причиною зміни швидкості руху тіл і причиною зміни форми та об'єму тіл є взаємодія.*



2. Ви ознайомилися з *різними силами в механіці.*



www.e-ranok.com.ua

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 інертності тіла)	m (ем)	кг (кілограм)	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{F}{S}$	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 масою та об'ємом. Ареометр (густина рідин)	Залежить від температури та агрегатного стану речовини
Сила	Взаємодію	$\vec{F}$ (еф)	Н (ньютон)	Залежить від того, яка це сила	Динамометр. За певними формулами	Слід зазначати: значення; напрямок; точку прикладання
Тиск	Результат дії сили	p (пе)	Па (паскаль)	$p = \frac{F}{S}$	За силою та площею. Манометр (тиск газів і рідин). Барометр (атмосферний тиск)	Гідростатичний тиск залежить тільки від висоти стовпа рідини: $p = \rho g h$

4. Ви дізналися про *тиск рідин і газів*, ознайомились із *законом Паскаля, законом Архімеда*, довели наявність *атмосферного тиску*.

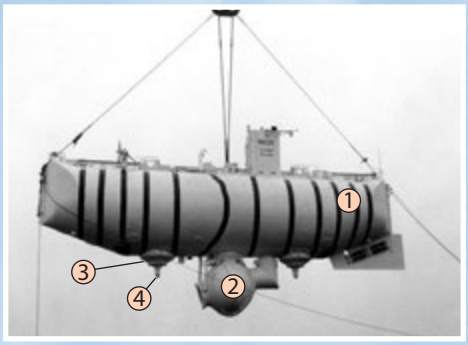


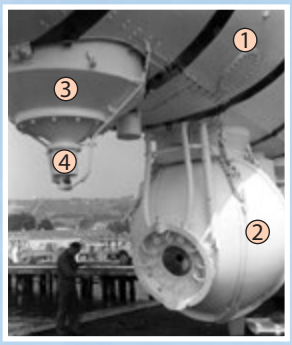
www.e-ranok.com.ua

Навіщо нирцю повітряна куля

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 із 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 уся конструкція виявилася важчою за воду, то природно, що куля почне опускатись 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. Кулю заповнили бензином: бензин легший за воду й не гірше від повітря забезпечить спливання апарата; 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 перевернуті бідони з кришками *(3)* і закриваються електромагнітними замками *(4)*.

Живлення батискафа здійснюється від акумуляторів, які мають обмежений ресурс. Це означає, що в разі аварії через деякий час акумулятори припинять постачати струм до електромагнітних замків. Тоді кришки відкриються, баласт упаде на дно, а батискаф спливе на поверхню. На щастя, цей запобіжний прийом так і не став у пригоді.

З моменту занурення «Трієста» пройшло понад півстоліття. За цей час людство здійснило справжній прорив у багатьох галузях техніки, але конструкція «Трієста» залишилася неперевершеною.

www.e-ranok.com.ua

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 7-го класу, разом із ним вигадати, як зменшити цю силу. У результаті вони, наприклад, можуть підкласти під кути (опори) шафи звичайні пластикові кришки. Сила тертя зменшиться, і зусиль навіть однієї людини буде достатньо, щоб переставити шафу. А як вирішують подібні завдання в разі створення складних технічних пристроїв?





Маглев-потяг у Шанхаї (Китай)

Щоб зменшити силу тертя, зазвичай використовують мастила — речовини, які забезпечують легше ковзання дотичних поверхонь. А ще силу тертя ковзання можна зменшити, використавши відповідні стичні матеріали (згадайте приклад із шафою). Однак усе одно 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.

Якщо взяти два магніти й зблизити їх певним чином, магніти будуть відштовхуватися. А тепер проведемо уявний експеримент. Що буде, якщо потужний магніт розмістити, наприклад, на підставці, а зверху до нього піднести невеликий магніт? Якщо другий магніт буде досить легким, тобто таким, щоб сила магнітного відштовхування зрівноважила силу притягання Землі, то він має літати в повітрі!

Пристрої, які використовують описаний вище ефект, одержали загальну назву *«маглев»* (скорочене від англ. *magnetic levitation* — магнітна левітація). Найбільше вражають, мабуть, маглев-потяги. Під час руху такі потяги не торкаються колії — вони утримуються над нею потужними магнітами. Таким чином, тертя об опору відсутнє, 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. Ґ. Ґалілей, 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. Як зменшити опір повітря.
9. Життя і досягнення Блеза Паскаля.
10. Демонстрація сили тиску атмосферного повітря: дивовижний дослід бургомістра Маґдебурґа Отто фон Ґеріке.
11. Гідравлічні машини.
12. Гальма автомобіля як гідравлічна машина.
13. Глибини, підкорені аквалангістами. Заходи безпеки під час підкорення морських глибин.
14. Апарати для вивчення морських і океанських глибин.
15. Легенди й міфи про життя Архімеда.
16. Склад атмосфери та значення атмосферного тиску на планетах Сонячної системи.
17. Історія польотів на повітряних кулях.
18. Від повітряної кулі до сучасних літаків.
19. Від стародавніх вітрильників до сучасних океанських лайнерів.
20. Видатний конструктор українського походження І. І. Сікорський.
21. 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 сипких речовин: пшона, манки, борошна тощо.
4. Створення моделі фонтана й демонстрація його дії.
5. Створення моделі «Барометр для рибалок».
6. Моделювання плавання суден за допомогою хатнього посуду.
7. Створення моделі для демонстрації закону Паскаля.

www.e-ranok.com.ua

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



www.e-ranok.com.ua

§ 30. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ОДИНИЦЯ РОБОТИ

На перший погляд, навести приклади ситуацій, коли виконується робота, дуже просто. Роботу виконують вода і повітря, машини й механізми, будівельники і вантажники. А чи виконує роботу учень, який нерухомо тримає в руках важкий портфель? програміст, який, сидячи за комп'ютером, виконує завдання? 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 чіткіше визначений зміст.

Про *механічну роботу* говорять тоді, коли *тіло змінює своє положення в просторі під дією сили*. Розглянемо рух баржі, яку тягне буксир (рис. 30.1). Буксир діє на баржу з певною силою — силою тяги $\left(\vec{F}_{\text{тяги}}\right)$. Вантаж, розташований на баржі, також діє на баржу — тисне на неї із силою тиску $\left(\vec{F}_{\text{тиску}}\right)$. 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.

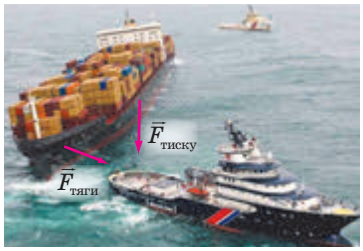


Рис. 30.1. Буксир діє на баржу і переміщує її. Вантаж також діє на баржу, але під його дією баржа не переміщується

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, змусити буксир із баржею рухатися з більшою швидкістю. Узагалі механічна робота, яку виконує певна сила, залежить від значення сили та шляху, який тіло подолає під дією цієї сили.

Механічна робота — це фізична величина, яка характеризує зміну положення тіла під дією сили і дорівнює добутку сили на шлях, подоланий тілом у напрямку цієї сили:

$$A = Fl,$$

де A — механічна робота; F — значення сили, що діє на тіло; l — шлях, який подолало тіло, рухаючись у напрямку цієї сили.



Рис. 30.2. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), відомий англійський фізик; експериментально довів закон збереження енергії, визначив механічний еквівалент теплоти

Одиниця роботи в СІ — **джоуль** (Дж); названа так на честь англійського вченого *Джеймса Джоуля* (рис. 30.2):

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

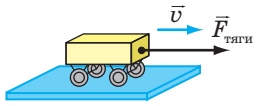
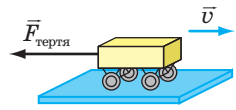
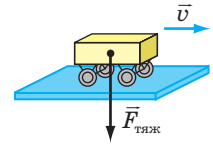
www.e-ranok.com.ua

1 Дж *дорівнює механічній роботі, яку виконує сила* 1 Н, *переміщуючи тіло на* 1 м *у напрямку дії цієї сили:* $1\,\text{Дж} = 1\,\text{Н}\cdot\text{м}$.

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'ясовуємо, яких значень може набувати механічна робота

Як ви знаєте, *сила має напрямок — це векторна величина*. А от *робота сили не має напрямку*, 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 $A = 0$
		

? Розгляньте сили, які діють на автомобіль, що рухається горизонтальною ділянкою дороги (рис. 30.3): сила тяги, сила опору рухові, сили нормальної реакції опори, сила тяжіння. Яка сила, на вашу думку, виконує додатну роботу? від'ємну роботу? Робота яких сил дорівнює нулю?

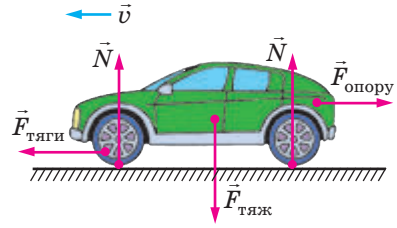


Рис. 30.3. До запитання

3 Дізнаємося про геометричний зміст роботи

Нехай тіло рухається під дією *незмінної* сили $\vec{F}$, напрямок якої весь час збігається з напрямком руху тіла. Робота такої сили дорівнює добутку сили на шлях: $A = Fl$.

Побудуємо графік залежності значення сили F від шляху l, який долає тіло (рис. 30.4). Графік являє собою відрізок прямої, яка паралельна осі абсцис (осі шляху).

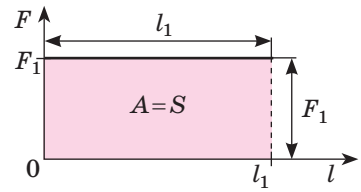


Рис. 30.4. Щоб визначити роботу A сили під час руху тіла в напрямку дії цієї сили, слід визначити площу S фігури під графіком залежності сили від шляху. Тут F_1 — сила, що діє на тіло; l_1 — шлях, який подолало тіло під дією цієї сили

www.e-ranok.com.ua

Із рисунка бачимо, що добуток $F_1 \cdot l_1$ є добутком довжини та ширини прямокутника, тобто відповідає площі S цього прямокутника. У цьому полягає **геометричний зміст механічної роботи**:

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.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. За допомогою пружини жорсткістю 25 Н/м брусок пересувають по столу з незмінною швидкістю 5 см/с. Яку роботу виконає сила пружності за 20 с, якщо весь час видовження пружини — 4 см?

Аналіз фізичної проблеми. Робота сили пружності є додатною, оскільки брусок рухається в напрямку дії сили. Для обчислення роботи слід знайти значення сили пружності $\left(F_{\text{пруж}}\right)$ і шлях l, який подолав брусок. Жорсткість пружини та її видовження відомі, тому для знаходження значення сили пружності скористаємося законом Гука. Брусок рухається рівномірно, отже, його шлях дорівнює добутку швидкості та часу руху. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

$k = 25\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$v = 5\ \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0{,}05\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$t = 20\ \text{с}$

$x = 4\ \text{см} = 0{,}04\ \text{м}$

Знайти:

A — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням роботи: $A = F_{\text{пруж}} l$.

За законом Гука: $F_{\text{пруж}} = kx$.

Шлях, який подолав брусок, дорівнює: $l = vt$.

Підставивши вирази для $F_{\text{пруж}}$ і l у формулу роботи, 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: $A = 1$ Дж.



Підбиваємо підсумки

Механічна робота — це фізична величина, яка характеризує зміну положення тіла під дією сили. Якщо сила є незмінною і діє в напрямку руху тіла, механічну роботу обчислюють 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.

www.e-ranok.com.ua

Контрольні запитання

1. Що ми розуміємо під словом «робота» в повсякденному житті? **2.** Дайте означення механічної роботи. **3.** Які умови необхідні для виконання механічної роботи? **4.** Назвіть одиницю роботи в СІ і дайте її означення. **5.** На честь якого вченого отримала назву одиниця роботи? **6.** У яких випадках механічна робота є додатною? від'ємною? дорівнює нулю? ✱ **7.** У чому полягає геометричний зміст механічної роботи?

Вправа № 30

1. Тягар нерухомо висить на пружині. Чи виконує роботу сила пружності, яка діє на тягар? Чи виконує роботу сила тяжіння?

2. 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?

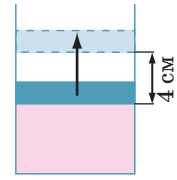
3. Наведіть приклади ситуацій (не розглянуті в параграфі), коли сила, яка діє на тіло, виконує додатну роботу; виконує від'ємну роботу; не виконує роботи.

4. Прикладаючи горизонтальну силу 50 Н, поверхнею стола протягли з незмінною швидкістю вантаж. При цьому було виконано роботу 150 Дж. Який шлях подолав вантаж?

5. Камінь масою 4 кг падає з висоти 5 м. Яка сила виконує додатну роботу під час падіння каменя? Чому дорівнює ця робота?

6. 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.

7. 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 м^2.



8. Складіть задачу, обернену до задачі, яку подано у § 30, і розв'яжіть її.

9. 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/м^3. Опором води знехтуйте.

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? Оформте звіт, у якому зазначте, які прилади ви використовували для визначення роботи, які вимірювання та розрахунки здійснювали, які результати отримали.

www.e-ranok.com.ua

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 передбачив структуру так званих «полярних шапок» 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 зворотного боку Місяця», який був складений за фотографіями, отриманими автоматичною міжпланетною станцією «Місяць-3».

§ 31. ПОТУЖНІСТЬ

Можливо, відправною точкою в розвитку людської цивілізації став час, коли людина почала виготовляти прості знаряддя, будувати найпростіше житло, орати землю. Спочатку вона використовувала для виконання роботи тільки м'язову силу своїх рук, потім — силу свійських тварин: коней, волів, віслюків, верблюдів. Це дозволило за менший час 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?



Рис. 31.1. Екскаватор виконує ту саму роботу в декілька разів швидше за копача

1 Знайомимось із фізичною величиною «потужність»

Різним виконавцям для здійснення тієї самої роботи потрібен різний час. Так, якщо екскаватор і копач одночасно розпочнуть копати траншеї (рис. 31.1), то зрозуміло, що екскаватор виконає роботу значно швидше за копача. Так само кран швидше за вантажника перенесе потрібну кількість цеглин; трактор швидше за коня зоре поле.

Наведіть ще кілька подібних прикладів.

Для характеристики швидкості виконання роботи використовують фізичну величину *потужність*.

www.e-ranok.com.ua

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 виконання роботи.

Одиниця потужності в СІ — **ват**:

$$[N] = \text{Вт}.$$

Ця одиниця дістала свою назву на честь британського інженера та винахідника-механіка *Дж. Ватта** (рис. 31.2).

1 Вт *дорівнює потужності, за якої протягом* 1 с *виконується робота* 1 Дж:

$$1\ \text{Вт} = 1\frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

З означення 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, один двигун літака АН-225 потужніший у 5 разів за один двигун літака АН-140 (див. таблицю)**, оскільки за 1 с він виконує роботу 9190 кДж, а двигун літака АН-140 — лише 1840 кДж.

2 З'ясовуємо, як потужність залежить від сили тяги та швидкості руху

Припустимо, що треба визначити потужність транспортного засобу, який рухається з незмінною швидкістю v, а його двигун створює силу тяги F. Для визначення потужності скористаємося формулою: $N = \frac{A}{t}$.



Рис. 31.2. Джеймс Ватт (1736–1819), британський винахідник-механік; створив універсальну парову машину

Потужність двигунів деяких технічних засобів

Технічний засіб	Потужність, кВт
Пральні машини	0,15–0,45
Пилососи	1,3–2,5
Мотоцикли	11–230
Легкові автомобілі	37–1000
Вантажні автомобілі	35–2940
Трактори	45–410
Гелікоптери	425–8380
Літак АН-140 (1 двигун)	1840
Літак АН-225 «Мрія» (1 двигун)	9190
Ракета-носій «Протон» (загальна потужність)	$\approx 4{,}4 \cdot 10^7$

* Як одиницю потужності Джеймс Ватт запровадив *кінську силу*. Цю одиницю й зараз використовують у техніці: 1 к. с. ≈ 735,5 Вт.

** Загальна потужність двигунів літака АН-225 (що має 6 двигунів) перевищує загальну потужність двигунів літака АН-140 (що має 2 двигуни) у 15 разів.

www.e-ranok.com.ua

Згадаємо формулу для розрахунку роботи: $A = Fl$, а також те, що в разі рівномірного руху шлях l, який подолало тіло, дорівнює добутку швидкості руху тіла на час його руху: $l = vt$. Після перетворень маємо: $N = \frac{A}{t} = \frac{Fl}{t} = \frac{Fvt}{t} = Fv$.

Отже, отримано *формулу для визначення потужності*:

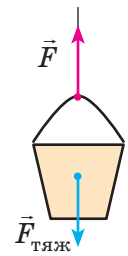
$$N = Fv$$

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 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 становить 10 кг?

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 $\vec{F}_{тяж}$ і сила $\vec{F}$ (див. рисунок). Відро рухається рівномірно, тому ці сили скомпенсовані: $F = F_{тяж}$. За цих умов і знайдемо шукане значення сили. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.



Дано:
$h = 20$ м
$t = 20$ с
$m = 10$ кг
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

Знайти:
N — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За означенням потужності: $N = \frac{A}{t}$.

Робота, яку виконала людина: $A = Fl$.

Оскільки $F = F_{тяж} = mg$, а $l = h$, то робота людини дорівнює $A = mgh$.

Підставимо вираз для роботи у формулу потужності:

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

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{кг \cdot \frac{Н}{кг} \cdot м}{с} = \frac{Н \cdot м}{с} = \frac{Дж}{с} = Вт; \quad N = \frac{10 \cdot 10 \cdot 20}{20} = 100 \text{ (Вт)}.$$

Відповідь: $N = 100$ Вт.

www.e-ranok.com.ua

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); $1\ \text{Вт} = 1\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

Потужність також можна обчислити за формулою: $N = Fv$.

Контрольні запитання

1. Дайте означення потужності. **2.** Назвіть одиницю потужності в СІ і дайте її означення. **3.** Яку позасистемну одиницю потужності ви знаєте? **4.** Як визначити потужність, яку розвиває тіло, якщо відомі сила, що діє на тіло, і швидкість руху тіла?

Вправа № 31

1. Першокласник і одинадцятикласник за однаковий час піднялися сходами з першого поверху на другий. Хто з них розвинув під час руху більшу потужність?

2. Хлопчик, піднімаючись сходами, розвинув потужність 160 Вт. Яку роботу виконав хлопчик за 20 с?

3. За який час двигун автомобіля, розвиваючи потужність 150 кВт, виконає роботу 900 кДж?

4. Рухаючись горизонтально ділянкою дороги, автомобіль під'їхав до підйому (рис. 1). Чи зміниться швидкість руху автомобіля за незмінної потужності двигуна?



Рис. 1

5. Загальна потужність двигунів літака становить 10 МВт. Визначте силу опору рухові, якщо літак рухається з незмінною швидкістю 720 км/год.

6. Складіть задачу, обернену до задачі, що подана в § 31, і розв'яжіть її.

7. На графіку (рис. 2) подано залежність сили тяги мотоцикла від шляху, який він долає за 2 хв руху. Визначте середню потужність двигуна мотоцикла.

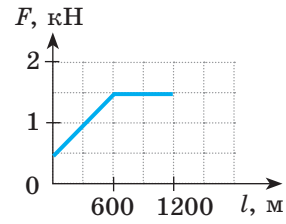


Рис. 2

8. «Три ущелини» — розташована в Китаї найпотужніша гідроелектростанція у світі. Вона може замінити 9 атомних електростанцій середньої потужності. Висота її греблі дорівнює 180 м, потужність водного потоку становить 22,5 ГВт. Визначте об'єм води, що падає з греблі за хвилину.

9. Скористайтесь додатковими джерелами інформації та складіть 1–2 задачі за темою § 31. Розв'яжіть складені задачі; умови і розв'язання оформте на окремому аркуші.

www.e-ranok.com.ua



10. Заповніть таблицю. 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	



Експериментальне завдання

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?

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 І. Р. Юхновський продовжив навчання в аспірантурі цього університету на кафедрі теоретичної фізики. Саме тут він пройшов шлях від аспіранта до академіка. І. Р. Юхновський 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.

§ 32. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. ПОТЕНЦІАЛЬНА І КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЇ ТІЛА

Слово «енергія» ми чуємо в телевізійних репортажах, бачимо на шпальтах газет тощо. Ним можна скористатися для характеристики людей (енергійна людина), природних явищ (енергія землетрусу чи урагану), машин і механізмів (електроенергія, яку вони споживають). А що ж таке енергія з точки зору фізики?

www.e-ranok.com.ua

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 фізичних величин.

З курсу природознавства ви знаєте такі поняття, як «електрична енергія», «атомна енергія», «механічна енергія», — усе це різні види енергії. У механіці ми маємо справу з *механічною енергією* і будемо користуватися таким означенням:

Енергія — це фізична величина, яка характеризує здатність тіла (системи тіл) виконувати роботу.

Енергію позначають символом E (або W). *Одиниця енергії в СІ*, як і робо́ти, — **джоуль:**

$$[E] = \text{Дж}.$$

Продемонструємо здатність тіла виконувати механічну роботу. Розташуємо маленьку кульку на краю стола, а на підлозі поставимо посудину з водою. Якщо зіштовхнути кульку, то вона полетить униз, упаде у воду й розхлюпає рідину (рис. 32.1). 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. 32.2 міцна мотузка втримує деформовану балку катапульти. Балка *роботу не виконує*, *але може виконати*, якщо мотузку відпустити: розпрямляючись, балка надасть швидкості метальному снаряду. При цьому деформація балки зменшиться.

Багатьом із вас, напевно, траплялося 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 розкидує кеглі, вона *виконує певну роботу* (рис. 32.3) і зменшує швидкість свого руху.



Рис. 32.1. Кулька має механічну енергію, тобто може виконати механічну роботу, наприклад розхлюпати воду

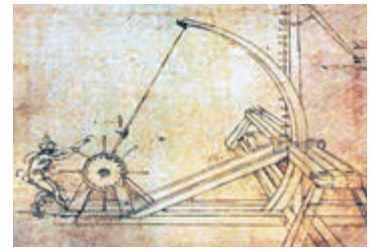


Рис. 32.2. Деформована балка катапульти має механічну енергію: якщо мотузку звільнити, балка розпрямиться і надасть швидкості метальному снаряду, тобто виконає роботу (рисунок Леонардо да Вінчі)



Рис. 32.3. Куля, яка рухається доріжкою, має механічну енергію, оскільки може виконати роботу — збити кеглі

www.e-ranok.com.ua



Рис. 32.4. Піднімаючи цеглини, вантажник виконує механічну роботу, яка дорівнює зміні енергії цеглин

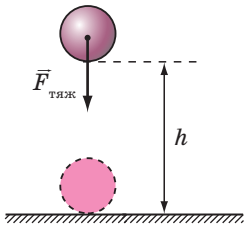


Рис. 32.5. Шлях, який подолало тіло, що падало під дією сили тяжіння $\vec{F}_{тяж}$, дорівнює висоті h, на якій перебувало тіло



Рис. 32.6. Потенціальна енергія книжки, розташованої на четвертій полиці, відносно підлоги є більшою, ніж відносно другої полиці

Наведіть ще кілька прикладів тіл, які здатні виконати роботу, тобто тіл, які мають певну механічну енергію.

Чим більшу роботу може виконати тіло, тим більшу енергією це тіло має. Під час виконання механічної роботи енергія тіла змінюється. Отже, *механічна робота є мірою зміни енергії тіла*.

Так, коли на будівництві робітник піднімає цеглини, енергія цеглин збільшується на значення виконаної робітником роботи (рис. 32.4). Енергія кульки, що падає зі столу, зменшується на значення виконаної цією кулькою роботи. Те саме можна сказати й про роботу, виконану балкою катапульти, і про роботу кулі для боулінгу тощо.

2 Визначаємо потенціальну енергію, яку запасає підняте тіло

Тіло, підняте над поверхнею Землі, має певну енергію, зумовлену притяганням тіла до Землі. Таку енергію називають *потенціальною*.

Потенціальна енергія E_p — це енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин тіла.

Потенціальна енергія тіла, піднятого на деяку висоту h *над поверхнею Землі, дорівнює роботі, яку виконає сила тяжіння* $\vec{F}_{тяж}$ *за час падіння тіла з цієї висоти:* $E_p = A = F_{тяж} l$.

Оскільки $F_{тяж} = mg$, а $l = h$ (рис. 32.5), то $E_p = mgh$.

Потенціальна енергія тіла, піднятого над поверхнею Землі, дорівнює добутку маси m *тіла, прискорення вільного падіння* g *і висоти* h*, на якій розташоване тіло:*

$$E_p = mgh$$

Потенціальна енергія тіла залежить від висоти, на якій перебуває тіло, отже, *вибір нульового рівня — рівня, від якого буде вимірюватися висота*, — суттєво впливає на значення потенціальної енергії (рис. 32.6).

www.e-ranok.com.ua

3 Доводимо, що пружно деформовані тіла мають потенціальну енергію

У пружно деформованому тілі частини тіла взаємодіють силами пружності. Якщо тіло «звільнити», то сили пружності повернуть його до недеформованого стану, виконавши механічну роботу. Отже, пружно деформоване тіло теж має потенціальну енергію (рис. 32.7).



Рис. 32.7. Чим більше деформовані плечі лука, тим більша їх потенціальна енергія

Потенціальну енергію *пружно деформованої* (розтягненої або стисненої) *пружини* визначають за формулою:

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

де k — жорсткість; x — видовження пружини.

Властивість деформованої пружини «запасати» потенціальну енергію, а потім за її рахунок виконувати механічну роботу використовують у багатьох механізмах: механічних годинниках, дверних замках, клапанах автомобільних двигунів, амортизаторах автомобілів тощо.

4 Знайомимося з кінетичною енергією тіла

Згадаємо приклад із кулею для боулінгу: вона котиться, розкидує кеглі й зменшує швидкість свого руху. Куля виконує механічну роботу, тому механічна енергія кулі зменшується. Разом з тим потенціальна енергія кулі до і після зіткнення з кеглями залишається незмінною, адже весь час куля перебуває на тій самій висоті, — змінюється тільки швидкість її руху. Отже, енергія, яка дозволила кулі виконати роботу, була зумовлена рухом кулі. У фізиці цю енергію називають *кінетичною*.

Кінетична енергія залежить від маси тіла та швидкості його руху.

Так, із двох куль, які рухаються з однаковою швидкістю, куля більшої маси відштовхне той самий брусок на більшу відстань, тобто виконає більшу роботу. Це означає, що за однакової швидкості куля більшої маси має більшу кінетичну енергію (рис. 32.8). Якщо кулі мають однакову масу, то більшу роботу виконує та куля, яка рухається з більшою швидкістю, тобто саме ця куля має більшу кінетичну енергію (рис. 32.9).

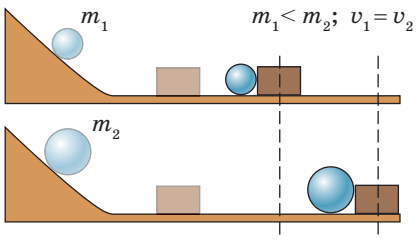


Рис. 32.8. Чим більшою є маса кулі, тим більшу кінетичну енергію вона має

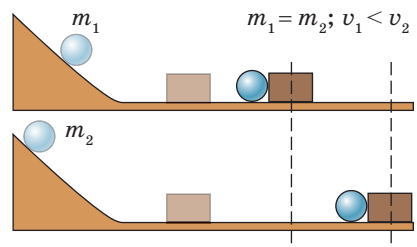


Рис. 32.9. Чим більшою є швидкість руху кулі, тим більшу кінетичну енергію вона має

www.e-ranok.com.ua

У фізиці визначено певну *залежність кінетичної енергії від маси і швидкості руху тіла.*

Кінетична енергія — це енергія, яка зумовлена рухом тіла і дорівнює половині добутку маси тіла на квадрат швидкості його руху:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

де E_k — кінетична енергія тіла; m — маса тіла; v — швидкість руху тіла.

Кінетична енергія тіла для різних спостерігачів може бути різною, оскільки відносно них може бути різною швидкість руху цього тіла (рис. 32.10, 32.11).



Рис. 32.10. Відносно туриста камінь не має кінетичної енергії, а відносно велосипедиста, який стрімко наближається, — має



Рис. 32.11. Відносно пасажира потяга, що рухається, кінетична енергія журналу дорівнює нулю, а відносно людини на платформі журнал має кінетичну енергію

5 Даємо означення повної механічної енергії тіла

Доволі часто тіло має і потенціальну, 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 кінетичної і потенціальної енергій тіла називають **повною механічною енергією тіла**:

$$E_{\text{повна}} = E_k + E_p$$



Підбиваємо підсумки

Якщо тіло (або система тіл) може виконати механічну роботу, то кажуть, що воно (вона) має енергію.

Енергію позначають символом E або W. Одиницею енергії в СІ є джоуль (Дж).

www.e-ranok.com.ua

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: $E_p = mgh$, де m — маса тіла; g — прискорення вільного падіння; h — висота, на якій розташоване тіло, відносно нульового рівня.

Енергію, яка зумовлена рухом тіла, називають кінетичною енергією E_k.

Кінетичну енергію тіла обчислюють за формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$, де m — маса тіла; v — швидкість руху тіла.

Суму кінетичної і потенціальної енергій тіла називають повною механічною енергією тіла: $E_{\text{повна}} = E_k + E_p$.



Контрольні запитання

1. Що означає вираз: «Тіло (або система тіл) має енергію»? **2.** Назвіть одиницю енергії в СІ. **3.** Наведіть приклади на підтвердження того, що під час виконання роботи енергія тіла змінюється. **4.** Дайте означення потенціальної енергії. **5.** За якою формулою визначають потенціальну енергію тіла, піднятого на висоту h над поверхнею Землі? **6.** Чи залежить значення потенціальної енергії тіла, піднятого над Землею, від вибору початкового рівня відліку висоти? **7.** Дайте означення кінетичної енергії тіла. **8.** За якою формулою можна обчислити кінетичну енергію тіла? **9.** Чому кінетична енергія того самого тіла може бути різною? **10.** Дайте означення повної механічної енергії тіла.



Вправа № 32

1. Наведіть приклади тіл, які мають потенціальну енергію, і приклади тіл, які мають кінетичну енергію.

2. Опишіть, як змінюється потенціальна енергія літака під час зльоту та посадки. Як змінюється його кінетична енергія?

3. Обчисліть потенціальну енергію портфеля, який лежить на парті, відносно підлоги. Маса портфеля — 3 кг, висота парти — 80 см.

4. Визначте кінетичну енергію велосипедиста масою 50 кг, який рухається зі швидкістю 10 м/с.

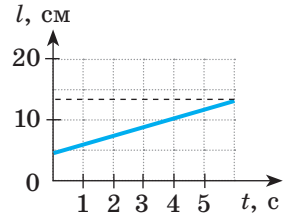
5. Цеглина масою 5 кг має потенціальну енергію 20 Дж. На якій висоті над підлогою розташована цеглина, якщо за нульовий рівень узято поверхню підлоги?

6. Тіло рухається зі швидкістю 7,2 км/год. Визначте масу цього тіла, якщо його кінетична енергія становить 5 Дж.

7. Під час баскетбольного матчу м'яч масою 400 г кинули 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.

www.e-ranok.com.ua

8. Скористайтесь додатковими джерелами інформації і знайдіть опис пристрою, дія якого ґрунтується на зміненні потенціальної енергії. Зробіть стисле повідомлення.





9. За графіком шляху (див. рисунок) визначте швидкість руху тіла. Відповідь подайте в метрах за секунду.



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** $F = \rho_{рід} g V_{зан}$



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.

§ 33. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мабуть, кожен із вас грався з м'ячиком-стрибунцем. Згадайте: м'ячик злітає вгору, падає на підлогу, відскакує від неї, знову злітає і знову падає… Коли м'ячик летить угору, швидкість його руху зменшується, потім м'ячик на мить зупиняється на певній висоті, а після цього починає рух униз. Кінетична енергія м'ячика під час руху вгору теж зменшується. А чи зникає енергія м'ячика зовсім?



1 Досліджуємо перетворення потенціальної енергії на кінетичну і навпаки

Одним із фундаментальних законів природи є **закон збереження і перетворення 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. 33.1). Вважатимемо, що тертям можна знехтувати.

За нульовий рівень оберемо найнижче положення кульки — положення рівноваги (на рис. 33.1 — положення *2*).

www.e-ranok.com.ua

Відхилимо кульку до положення *1*. У нашому досліді в положенні *1* кулька буде перебувати на найбільшій висоті, отже, в положенні *1* кулька має найбільшу потенціальну енергію $\left(E_{p\,\max} = mgh_{\max}\right)$. У положенні *1* кулька не рухається, тому її кінетична енергія дорівнює нулю ($\upsilon = 0$, $E_k = 0$). Коли кулька починає рух, швидкість її руху поступово збільшується, відповідно зростає і кінетична енергія кульки. Потенціальна ж енергія кульки зменшується, адже зменшується висота h, на якій перебуває кулька.

У момент, коли кулька опиняється в положенні *2*, її потенціальна енергія зменшується до нуля ($h = 0$, $E_p = mgh = 0$). У цей момент швидкість руху кульки є найбільшою і також найбільшою є її кінетична енергія $\left(E_{k\,\max} = \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}\right)$.

За рахунок запасу кінетичної енергії кулька продовжує рух, піднімаючись усе вище, внаслідок чого зростає її потенціальна енергія. Натомість швидкість руху кульки зменшується, відповідно зменшується її кінетична енергія.

Нарешті кулька зупиниться в положенні *3* — на висоті $h_{\max}$. Кінетична енергія кульки 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*.

Спробуйте пояснити перетворення енергії під час коливань пружинного маятника (рис. 33.2).

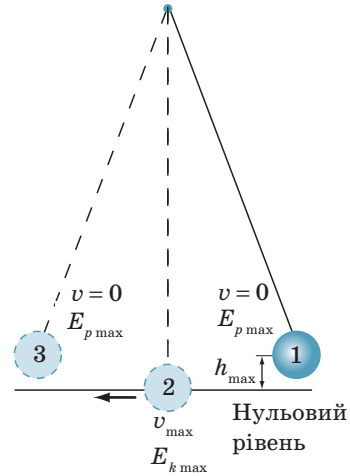


Рис. 33.1. Під час коливань нитяного маятника відбувається постійне перетворення потенціальної енергії кульки на кінетичну енергію і навпаки



Рис. 33.2. Взаємне перетворення потенціальної і кінетичної енергій триватиме доти, доки коливається іграшка

2 Відкриваємо закон збереження і перетворення механічної енергії

Повернемося до прикладу з м'ячиком-стрибунцем. Коли м'ячик летить угору, висота, на якій він перебуває, зростає, тобто зростає і його потенціальна енергія (рис. 33.3). Швидкість руху м'ячика зменшується,

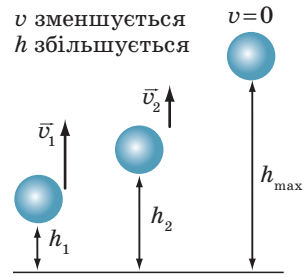


Рис. 33.3. Під час руху м'ячика вгору його потенціальна енергія збільшується, а кінетична — зменшується (коли м'ячик рухається вниз, E_k збільшується, E_p зменшується)

www.e-ranok.com.ua

відповідно зменшується його кінетична енергія. *За умови відсутності сили опору повітря* кінетична енергія м'ячика зменшується на стільки, на скільки збільшується його потенціальна енергія, і навпаки, тобто *повна механічна енергія системи м'ячик—Земля не змінюється.*

Те саме можна сказати й про маятники під час їхніх коливань: *за відсутності сил тертя повна механічна енергія маятників залишається незмінною.*

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили сформулювати **закон збереження і перетворення механічної енергії:**

У системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p,$$

де $E_{k0} + E_{p0}$ — повна механічна енергія системи тіл на початку спостереження; $E_k + E_p$ — повна механічна енергія системи тіл в кінці спостереження.

3 Дізнаємося, що відбувається з енергією, якщо в системі існують сили тертя

Наголосимо ще раз: закон збереження і перетворення механічної енергії* справджується лише у випадках, коли немає втрат механічної енергії, зокрема за умови відсутності тертя. *Якщо в системі існує тертя, то механічна енергія* (*або її частина*) *перетворюється на внутрішню***.

Як приклад розглянемо перетворення механічної енергії на внутрішню під час гальмування потяга. Коли машиніст натискає на гальмо, гальмівні колодки притискаються до коліс (рис. 33.4). Унаслідок дії сили тертя ковзання швидкість обертання колеса, а отже, й швидкість руху потяга зменшуються, тобто зменшується його механічна енергія. При цьому, якщо доторкнутися до гальмівних колодок або колеса відразу після гальмування, то можна навіть обпектися — так сильно вони нагріваються. Нагрівання свідчить про те, що внутрішня енергія цих тіл збільшилась.

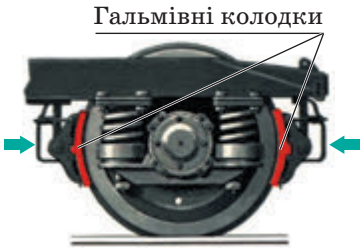


Рис. 33.4. Колесо потяга під час гальмування

Отже, кінетична енергія потяга перетворилася на внутрішню енергію гальмівних колодок, колеса та навколишнього середовища.

* Закони, про які йшлося в пунктах 1 і 2 параграфа, для скорочення зазвичай будемо називати «закон збереження енергії» і «закон збереження механічної енергії».

** *Внутрішня енергія тіла* — це енергія руху та взаємодії молекул (атомів, йонів), з яких складається тіло. Зі збільшенням температури тіла його внутрішня енергія збільшується. Докладніше про внутрішню енергію ви дізнаєтесь у 8 класі.

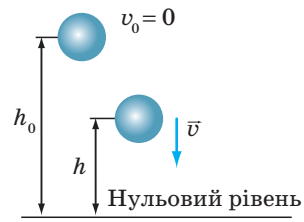
www.e-ranok.com.ua

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Тіло масою 1 кг починає падати на поверхню Землі з висоти 20 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме 100 Дж? Опором повітря знехтуйте.

Аналіз фізичної проблеми. За відсутності опору повітря повна механічна енергія системи тіло—Земля не змінюється, тому для розв'язання задачі можемо скористатися законом збереження механічної енергії. Тіло починає рух, тому його початкова швидкість дорівнює нулю: $\upsilon_0 = 0$.

Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зазначимо положення тіла на початку та в кінці спостереження. За нульовий рівень оберемо поверхню Землі. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.



Дано:
$m = 1$ кг
$\upsilon_0 = 0$
$h_0 = 20$ м
$E_k = 100$ Дж
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом збереження механічної енергії:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

На початковій висоті h_0: $E_{k0} = 0$ (адже $\upsilon_0 = 0$); $E_{p0} = mgh_0$.

На шуканій висоті h: $E_k \neq 0$ (адже тіло рухається); $E_p = mgh$.

Отже: $0 + mgh_0 = E_k + mgh$.

Звідси маємо: $mgh = mgh_0 - E_k \Rightarrow h = h_0 - \frac{E_k}{mg}$.

Перевіримо одиниці, визначимо 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: $h = 10$ 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.

Аналіз фізичної проблеми. Оскільки опором повітря ми нехтуємо, то повна механічна енергія системи тіло—Земля не змінюється, тому для розв'язання задачі можемо скористатися законом збереження механічної енергії. Рівень, з якого кидають тіло, візьмемо за нульовий. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

www.e-ranok.com.ua

Дано:
$v_0 = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$E_p = E_k$
$g = 10\ \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$
$h_0 = 0$

Знайти:
h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом збереження механічної енергії:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

На початковій висоті h_0: $E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2}$; $E_{p0} = 0$ (адже $h_0 = 0$).

На шуканій висоті h: $E_k = E_p$ — за умовою; $E_p = mgh$.

Отже, маємо: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + mgh$.

З отриманого рівняння визначимо шукану висоту:

$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh \Rightarrow mv_0^2 = 4mgh$, звідки $h = \frac{v_0^2}{4g}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$h = \frac{20 \cdot 20}{4 \cdot 10} = \frac{400}{40} = 10\ \text{(м)}.$$

Відповідь: $h = 10$ м.



Підбиваємо підсумки

Потенціальна енергія тіла (системи тіл) може перетворюватися на кінетичну енергію, і навпаки.

Закон збереження і перетворення механічної енергії: у системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

Якщо в системі існує тертя, то повна механічна енергія з часом зменшується: частина механічної енергії перетворюється на внутрішню.



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. Чи порушується при цьому закон збереження енергії?

Вправа № 33

1. Шайба скочується з льодової гірки на асфальт і зупиняється. Чи зберігається в цьому випадку повна механічна енергія?

2. Пружинний пістолет заряджають кулькою і стріляють угору. Які перетворення енергії при цьому відбуваються?

3. Початкова потенціальна енергія тіла, яке перебуває на деякій висоті в стані спокою, дорівнює 400 Дж. Тіло відпускають. Якою буде кінетична енергія тіла в момент, коли його потенціальна енергія становитиме 150 Дж? Опором повітря знехтуйте.

www.e-ranok.com.ua

4. Тіло кидають угору, надаючи йому кінетичну енергію 300 Дж. На якійсь висоті кінетична енергія тіла зменшиться до 120 Дж. Якою буде потенціальна енергія тіла на цій висоті? Опором повітря знехтуйте.

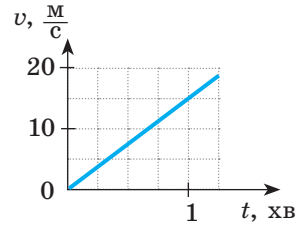
5. Камінь масою 500 г кинули вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. Визначте кінетичну і потенціальну енергії каменя на висоті 10 м.

6. Тіло, що перебувало в стані спокою, падає з висоти 20 м. На якій висоті швидкість руху тіла дорівнюватиме 10 м/с? Опором повітря знехтуйте.

7. М'яч кинули вертикально вгору зі швидкістю 8 м/с. Визначте, на який висоті швидкість руху м'яча зменшиться вдвічі. Опором повітря знехтуйте.



8. На рисунку подано графік залежності швидкості руху вантажівки масою 4 т від часу. Визначте кінетичну енергію вантажівки через 15 с після початку спостереження.

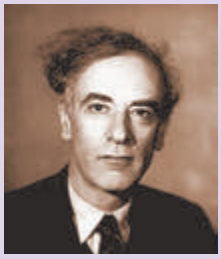




Експериментальне завдання

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



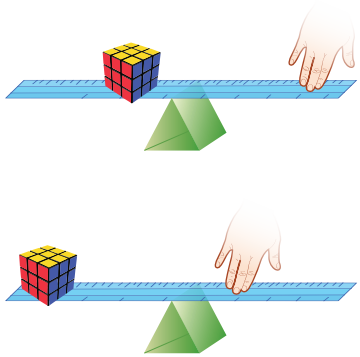
Один із видатних фізиків сучасності — **Лев Давидович Ландау** (1908–1968) — продемонстрував свої неабиякі здібності ще в середній школі. Після закінчення університету він стажувався в одного з творців квантової фізики Нільса Бора. Уже в 24 роки Л. Д. Ландау очолив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту (УФТІ) в Харкові та кафедру теоретичної фізики в Харківському політехнічному інституті, а згодом — кафедру теоретичної фізики Харківського університету.

В УФТІ Л. Д. Ландау створив відому школу теоретичної фізики. Його першими учнями були *О. С. Компанєєць, Є. М. Ліфшиць, О. І. Ахієзер, І. Я. Померанчук*. У 1937 р. на запрошення академіка *П. Л. Капіци* Ландау перейшов на роботу в Інститут фізичних проблем.

Як і більшість видатних фізиків-теоретиків, Ландау вирізнявся надзвичайною широтою наукових інтересів. Ядерна фізика, фізика плазми, теорія надплинності рідкого гелію, теорія надпровідності — в усі ці розділи фізики Ландау зробив значний внесок. У 1962 р. за роботи з фізики низьких температур Л. Д. Ландау отримав Нобелівську премію.

www.e-ranok.com.ua

§ 34. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ



Проведіть дослід. Візьміть довгу лінійку та розмістіть її на опорі так, як показано на рисунку. Ближче до опори покладіть (або підвісьте) будь-який вантаж, а рукою натисніть на інший кінець лінійки (подалі від опори), — ви легко утримаєте вантаж. А тепер пересуньте вантаж далі від опори, а руку покладіть ближче до опори. Чому в цьому випадку ви змушені прикладати більше зусилля, адже вантаж залишився тим самим? Поверніться до цього запитання після вивчення матеріалу параграфа, і, без сумнівів, ви легко зможете на нього відповісти.

1 Використовуємо важіль

Уже давно відомо, що важке тіло підняти значно легше, якщо просунути під нього міцний стрижень — лом. У цьому випадку лом відіграватиме роль *простого механізму — важеля*.

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі — осі обертання.

Лом, лопата (рис. 34.1), лінійка, якою ми утримували вантаж під час досліду, — все це приклади важелів.

Важіль — найпростіший механізм, яким людина користувалася протягом тисяч років. Зображення важеля можна знайти на скелях і в печерах, на стінах стародавніх храмів і папірусах. І сьогодні приклади застосування важеля ми бачимо всюди (рис. 34.2). Найчастіше як важіль використовують довгий стрижень із закріпленою віссю обертання.

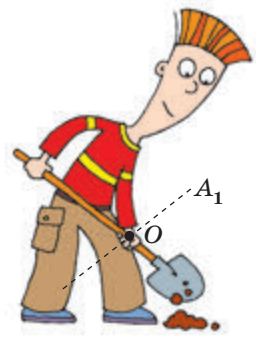


Рис. 34.1. Лопата (приклад важеля) — один із найдавніших інструментів, відомих людині. Тут AA_1 — вісь обертання; O — точка опори

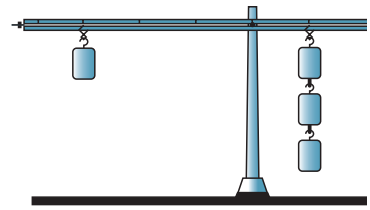


а *б* *в* *г*

Рис. 34.2. Важелі застосовують скрізь: на дитячих майданчиках (*а*), у лабораторіях (*б*), центрах керування технологічними процесами (*в*), на будмайданчиках (*г*) тощо

www.e-ranok.com.ua

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. 34.3).

Плече сили — це найменша відстань від осі обертання важеля до лінії, уздовж якої сила діє на важіль.

Підвісимо, наприклад, зліва від осі обертання на відстані $d_1 = 30$ см тягарець вагою $P_1 = F_1 = 1$ Н. Справа від осі обертання підвісимо тягарці загальною вагою $P_2 = F_2 = 3$ Н і пересуватимемо гачок, доки важіль не буде зрівноважено. Це відбудеться, коли тягарці загальною вагою 3 Н займуть положення на відстані $d_2 = 10$ см від осі обертання.

Знайдемо відношення $\frac{F_1}{F_2}$ значень сил, з якими тягарці діють на важіль, і відношення $\frac{d_2}{d_1}$ плечей цих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{1\text{ Н}}{3\text{ Н}} = \frac{1}{3};\quad \frac{d_2}{d_1} = \frac{10\text{ см}}{30\text{ см}} = \frac{1}{3}.$$

Таким чином, отримуємо рівність — **умову рівноваги важеля**, або **правило важеля**:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Зверніть увагу на те, що сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$ намагаються обертати важіль у протилежних напрямках (у нашому досліді сила $\vec{F}_1$ намагається обертати важіль проти ходу годинникової стрілки, сила $\vec{F}_2$ — за ходом годинникової стрілки).

Правило важеля встановив давньогрецький учений *Архімед*. За легендою, саме йому належать слова: «Дайте мені точку опори — і я переверну Землю» (рис. 34.4).

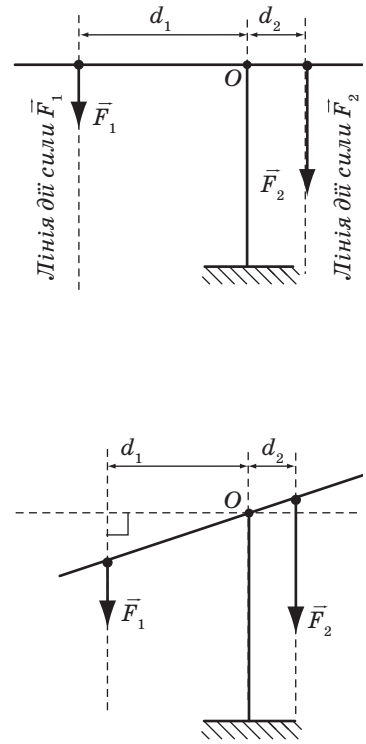


Рис. 34.3. Домогтися рівноваги важеля можна, якщо певним чином дібрати плечі сил. Щоб знайти плече сили, слід з точки опори опустити перпендикуляр на лінію дії сили. Тут O — точка опори; d_1 — плече сили $\vec{F}_1$; d_2 — плече сили $\vec{F}_2$

www.e-ranok.com.ua

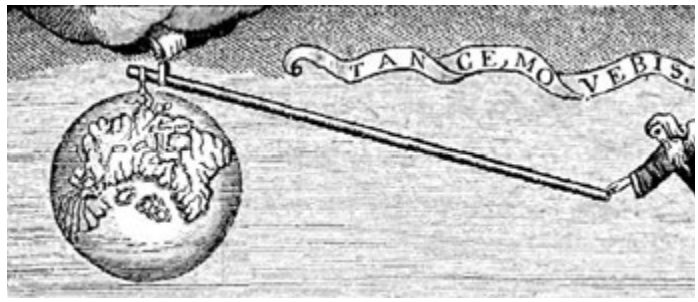
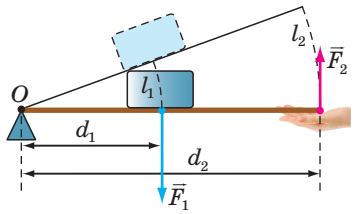


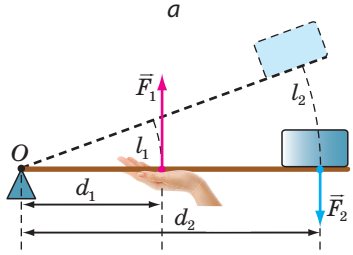
Рис. 34.4. Гравюра «Архімед важелем піднімає Землю» із книги П'єра Варіньйона про механіку (1787 р.)

3 Дізнаємося, чи завжди важіль застосовують для отримання виграшу в силі

Зазвичай кажуть, що за допомогою важеля можна отримати *виграш у силі*: наприклад, прикладаючи досить малу силу $(\vec{F}_2)$, можна підняти порівняно важке тіло (рис. 34.5, *а*). Однак *виграш у силі завжди супроводжується програшем у відстані*: плече меншої сили є більшим $(d_2 > d_1)$, тому, коли людина за допомогою важеля піднімає важке тіло навіть на невелику висоту, рука долає значну відстань.



а



б

Рис. 34.5. За допомогою важеля можна отримати як виграш у силі (*а*), так і виграш у відстані (*б*): точка прикладання меншої сили $(\vec{F}_2)$ завжди проходить більший шлях, а точка прикладання більшої сили $(\vec{F}_1)$ — менший шлях: $l_2 > l_1$

І навпаки, діючи на коротке плече важеля, ми *програємо в силі*, проте отримаємо *виграш у відстані* (рис. 34.5, *б*).

? Розгляньте рис. 34.6. Коли важіль застосовують для виграшу в силі, а коли — для виграшу у відстані?

4 Знайомимося з моментом сили

Для характеристики обертальної дії сили введено фізичну величину *момент сили*.

Момент сили — фізична величина, яка дорівнює добутку сили, що діє на тіло, на плече цієї сили:

$$M = F \cdot d,$$

де M — момент сили; F — значення сили; d — плече сили.

Одиниця моменту сили в СІ — **ньютон-метр:**

$$[M] = \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Сила 1 Н *створює момент сили* 1 Н·м, *якщо плече сили дорівнює* 1 м.

www.e-ranok.com.ua

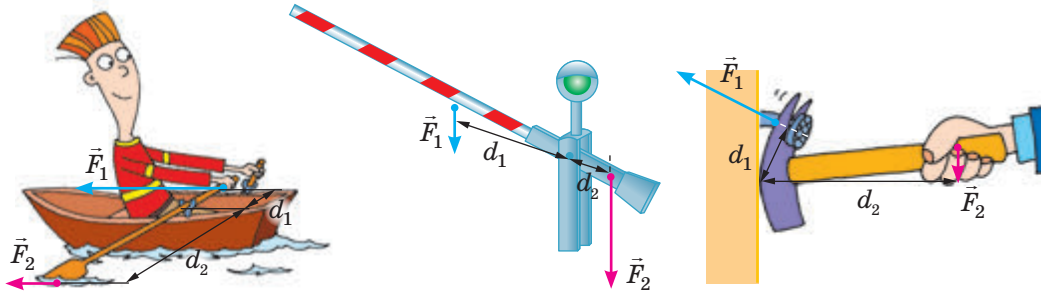


Рис. 34.6. Важіль застосовують як для виграшу в силі, так і для виграшу у відстані. На рисунку $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ — сили, які діють на важіль; d_1, d_2 — плечі цих сили

5 Відкриваємо правило моментів

Скористаємося властивістю пропорції та запишемо правило важеля $\frac{F_1}{F_2}=\frac{d_2}{d_1}$ інакше: $F_1d_1=F_2d_2$. Оскільки добуток сили F на плече d сили — це є момент сили (M), маємо:

$$M_1=M_2$$

Отже, умову рівноваги важеля під дією двох обертальних сил можна сформулювати так: *важіль перебуває в рівновазі, якщо момент сили, яка обертає важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює моменту сили, яка обертає важіль за ходом годинникової стрілки.*

Найчастіше на важіль діють більш ніж дві сили. У загальному випадку **умова рівноваги важеля (правило моментів)** формулюється так:

Важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює сумі моментів сил, які обертають важіль за ходом годинникової стрілки.

Наприклад, коли на плечі важеля діють три сили (рис. 34.7), умова його рівноваги матиме вигляд: $M_1=M_2+M_3$.

Зверніть увагу!

1. На важіль (рис. 34.7) крім сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ і $\vec{F}_3$, що намагаються його обертати, діють ще сила тяжіння $\vec{F}_{тяж}$ (важіль має масу) і сила нормальної реакції опори $\vec{N}$. Але плечі цих сил, а отже, їхні моменти дорівнюють нулю, тому ці сили не впливають на обертання важеля.

2. Важіль нерухомий. Це означає, що сили, які діють на важіль, скомпенсовані: $F_1+F_2+F_3+F_{тяж}=N$. Зрозуміло, що сили будуть скомпенсовані для будь-якого важеля, що перебуває в рівновазі.

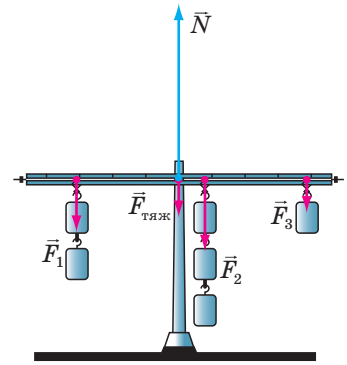
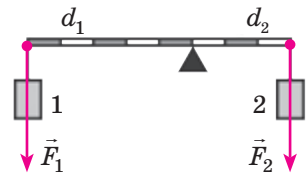


Рис. 34.7. Важіль залишається нерухомим, якщо справджується правило моментів і сили, що діють на важіль, скомпенсовані

www.e-ranok.com.ua

6 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Визначте масу вантажу *1* (див. рисунок), якщо маса вантажу *2* становить 4 кг. Масою важеля знехтуйте.



Аналіз фізичної проблеми. На плечі зображеного на рисунку важеля діють дві сили: вага вантажу *1* (сила $\vec{F}_1$) і вага вантажу *2* (сила $\vec{F}_2$). Ці сили намагаються обертати важіль у протилежних напрямках: сила $\vec{F}_1$ — проти ходу годинникової стрілки, сила $\vec{F}_2$ — за ходом годинникової стрілки. Із рисунка бачимо, що плечі цих сил становлять: $d_1 = 5a$, $d_2 = 3a$, де a — довжина одного відрізка. Вантажі нерухомі, тому вагу кожного з них можна визначити за формулою: $F = mg$. Важіль перебуває в рівновазі, тому можемо скористатися правилом важеля.

Дано:
$m_2 = 4$ кг
$d_1 = 5a$
$d_2 = 3a$

Знайти:
m_1 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За правилом важеля: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$.

Оскільки $F_1 = m_1 g$, а $F_2 = m_2 g$, маємо:

$$\frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{d_2}{d_1} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Отже, $m_1 = m_2 \frac{d_2}{d_1}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[m_1] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} = \text{кг}; \quad m_1 = 4 \cdot \frac{3a}{5a} = \frac{4 \cdot 3}{5} = 2{,}4 \ \text{(кг)}.$$

Аналіз результатів: до меншого плеча важеля підвішено вантаж масою 4 кг, а до більшого — вантаж масою 2,4 кг. Результат є правдоподібним.

Відповідь: $m_1 = 2{,}4$ кг.



Підбиваємо підсумки

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі. Плече сили — найкоротша відстань від осі обертання важеля до лінії дії сили.

Характеристикою обертальної дії сили є момент сили M, який дорівнює добутку сили F, що обертає тіло, на плече d цієї сили: $M = Fd$.

Важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює сумі моментів сил, які обертають важіль за ходом годинникової стрілки.

www.e-ranok.com.ua

Контрольні запитання

1. Що таке важіль? **2.** Наведіть приклади застосування важеля. **3.** Дайте означення плеча сили. **4.** Якою рівністю записують правило важеля? **5.** Чи завжди важіль застосовують для отримання виграшу в силі? Наведіть приклади. **6.** Дайте означення моменту сили. **7.** Якою є одиниця моменту сили в СІ? **8.** Сформулюйте правило моментів.

Вправа № 34

У завданнях 1–7 масою важеля слід знехтувати.

1. Маса якої людини на рис. 1 є більшою? Поясніть свою відповідь.

2. Вага вантажу *1* становить 90 Н (рис. 2). Визначте вагу вантажу *2*.

3. Визначте масу вантажу (рис. 3), якщо сила, що діє на правий кінець важеля, дорівнює 40 Н.

4. Загальна маса вантажів — 48 кг (рис. 4). Визначте масу кожного вантажу.

5. До кінців тонкого однорідного стрижня завдовжки 2 м підвішено вантажі масами 14 і 26 кг. На якій відстані від середини стрижня слід розмістити опору, щоб стрижень перебував у рівновазі?

6. Поясніть принцип дії пристроїв, зображених на рис. 5. Виконавши необхідні вимірювання, дізнайтесь, який найбільший виграш у силі можна отримати за допомогою цих пристроїв.

7. Маса вантажу *1* — 10 кг, вантажу *2* — 5 кг (рис. 6). Визначте масу вантажу *3*. З якою силою важіль тисне на опору?

8. Розв'яжіть задачу, розглянуту в параграфі, врахувавши, що маса важеля становить 500 г.

9. Скористайтесь додатковими джерелами інформації і знайдіть відомості про важелі в тілі людини. Складіть задачу, спираючись на отримані відомості, та розв'яжіть її.



Рис. 1

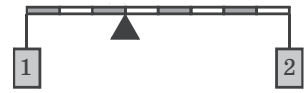


Рис. 2

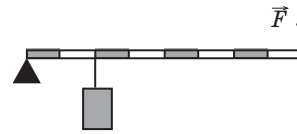


Рис. 3

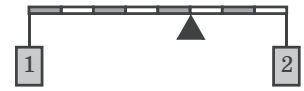


Рис. 4

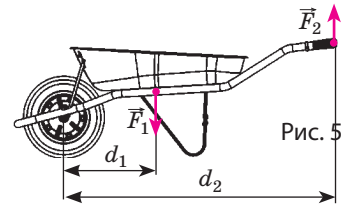


Рис. 5

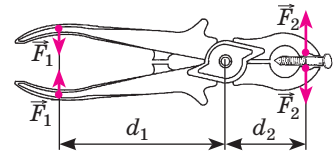


Рис. 5

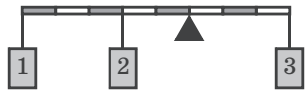


Рис. 6

www.e-ranok.com.ua



Експериментальні завдання

1. За допомогою олівця та трьох монет по 5 копійок виміряйте масу лінійки. Вважайте, що сила тяжіння, яка діє на лінійку, прикладена до її середини. Маса однієї п'ятикопійкової монети дорівнює 4,3 г.

2. Знайдіть у себе вдома кілька пристроїв, дія яких ґрунтується на умові рівноваги важеля (ножиці, пасатижі, гайковий ключ тощо). Проведіть необхідні вимірювання та обчислення і дізнайтесь, який найбільший виграш у силі (або відстані) можна отримати 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

Підготовка до експерименту

1. Перед виконанням роботи згадайте відповіді на такі запитання.
1) Що називають важелем і де застосовують важелі?
2) Що називають плечем сили?
3) Що таке момент сили?

2. Визначте ціни поділок шкал вимірювальних приладів.

3. Закріпіть на лапці штатива важіль і зрівноважте його за допомогою регулювальних гайок.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Номер досліду	Проти ходу годинникової стрілки			За ходом годинникової стрілки			$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{d_2}{d_1}$
	F_1, Н	d_1, м	M_1, Н·м	F_2, м	d_2, Н	M_2, Н·м		

www.e-ranok.com.ua

1. Підвісьте з одного боку від осі обертання важеля один тягарець, з іншого боку — два тягарці.
2. Пересуваючи тягарці, зрівноважте важіль (рис. 1).
3. Виміряйте за допомогою лінійки плечі d_1 і d_2 відповідних сил $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$.
4. Вважаючи, що вага одного тягарця дорівнює 1 Н, запишіть значення сил $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$.
5. Повторіть дослід, підвісивши на одній половині важеля два, а на іншій — три тягарці (рис. 2).
6. Підвісьте праворуч від осі обертання на відстані 12 см три тягарці (рис. 3). Значення сили $\vec{F}_2$ дорівнюватиме загальній вазі цих тягарців. Визначте за допомогою динамометра, яку силу $\vec{F}_1$ потрібно прикласти в точці, що лежить на відстані 8 см правіше від точки підвішення тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі.

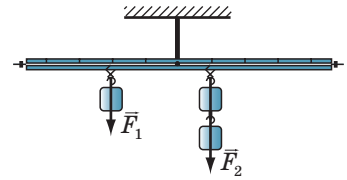
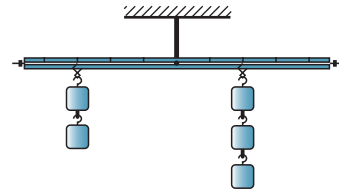


Рис. 1


Рис. 2

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліду:
   1) знайдіть відношення сил $\frac{F_1}{F_2}$ і відношення плечей $\frac{d_2}{d_1}$;
   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.
2. Закінчіть заповнення таблиці.

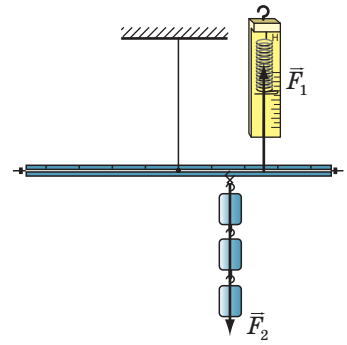


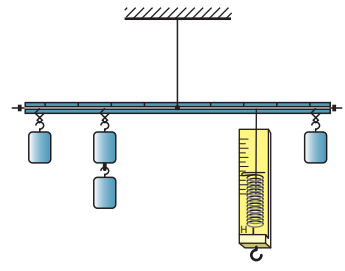
Рис. 3

Аналіз експерименту та його результатів

На підставі проведених дослідів порівняйте відношення сил, що діють на важіль, і відношення його плечей. Зробіть висновок, у якому: 1) сформулюйте умову рівноваги важеля; 2) проаналізуйте, які чинники вплинули на точність 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. 4

www.e-ranok.com.ua

§ 35. РУХОМИЙ І НЕРУХОМИЙ БЛОКИ

Перший блок було винайдено, коли через колесо, що обертається навколо осі, невідомий механік давнини перекинув мотузку і за допомогою цього пристрою почав 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'ясовуємо зв'язок нерухомого блока і важеля

На рис. 35.1, *а* зображене колесо (*1*) із жолобом (*2*). Вісь колеса (*3*) закріплена нерухомо в обоймі (*4*); колесо має можливість обертатися навколо цієї осі. Через жолоб перекинуто мотузку (*5*). Перед нами *простий механізм — нерухомий блок*.

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом по ободу, через який перекинуто мотузку (канат).

Важіль і нерухомий блок, на перший погляд, є зовсім різними механізмами. Насправді *нерухомий блок — це важіль з однаковими плечима*. Дійсно, прикладемо до кінців мотузки, перекинутої через блок, сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$ й опустимо перпендикуляри з точки опори на лінії дії сил (рис. 35.1, *б, в*). Бачимо, що плече кожної сили дорівнює радіусу R блока: $d_1 = OA = R$; $d_2 = OB = R$.

З умови рівноваги важеля $\left(\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}\right)$ випливає, що $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{R} = 1$, або:

$$F_1 = F_2$$

Отже, *нерухомий блок не дає виграшу в силі, проте дозволяє змінювати напрямок дії сили* (див., наприклад, рис. 35.1–35.3).

Розгляньте рис. 35.1, *б, в*. Якщо вільний кінець мотузки потягти вниз, куди рухатиметься вантаж? куди рухатиметься візок?

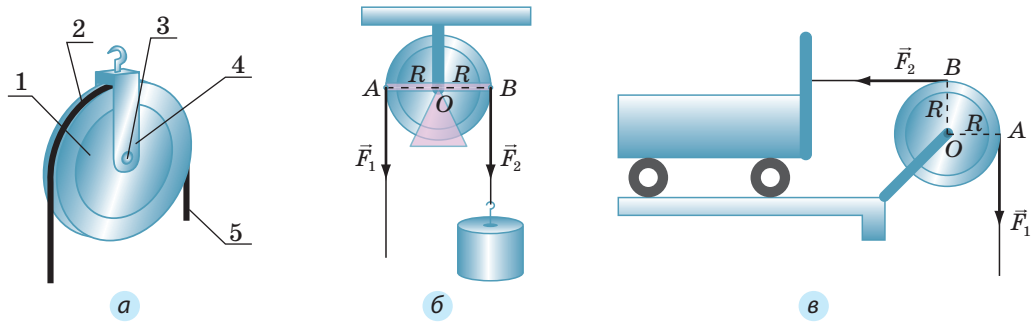


Рис. 35.1. Нерухомий блок можна розглядати як важіль з однаковими плечима. На схемах (*б, в*): R — радіус блока; O — точка опори; OA — плече сили $\vec{F}_1$; OB — плече сили $\vec{F}_2$.

www.e-ranok.com.ua

2 Досліджуємо рухомий блок

За допомогою спеціальної обойми причепимо вантаж до осі блока. Сам блок підвісимо на мотузку, один кінець якої закріпимо (рис. 35.4). Якщо піднімати вільний кінець мотузки, то за мотузкою підніматиметься і блок разом із вантажем. Отриманий простий механізм — це *рухомий блок*.

Рухомий блок можна розглядати як важіль, що обертається навколо осі, яка проходить через точку опори O (див. рис. 35.4). З рисунка бачимо, що плече сили $\vec{F}_2$ дорівнює радіусу блока (відрізок OA), а плече сили $\vec{F}_1$ — діаметру блока (відрізок OB), тобто двом його радіусам.

Скориставшись умовою рівноваги важеля $\left(\frac{F_1}{F_2}=\frac{d_2}{d_1}\right)$ і врахувавши, що $d_1=2R$, $d_2=R$, отримаємо: $\frac{F_1}{F_2}=\frac{R}{2R}=\frac{1}{2}$, або:

$$F_1=\frac{F_2}{2}$$

Отже, *використання рухомого блока дає змогу отримати виграш у силі в 2 рази*.

Зрозуміло, що виграш у силі буде супроводжуватися таким самим програшем у відстані: якщо вільний кінець мотузки підняти на висоту h, то блок разом із вантажем підніметься лише на висоту $\frac{h}{2}$ (рис. 35.5).



Рис. 35.2. Нерухомі блоки, які є в конструкції кар'єрних екскаваторів, дозволяють змінювати напрямок дії сил під будь-яким кутом



Рис. 35.3. Нерухомий блок у механізмі канатної дороги змінює напрямок дії сили натягу каната (а отже, напрямок руху каната) на протилежний

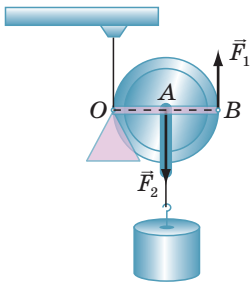


Рис. 35.4. Рухомий блок можна розглядати як важіль з відношенням плечей 1 : 2. На схемі: O — точка опори; OA — плече сили $\vec{F}_1$; OB — плече сили $\vec{F}_2$

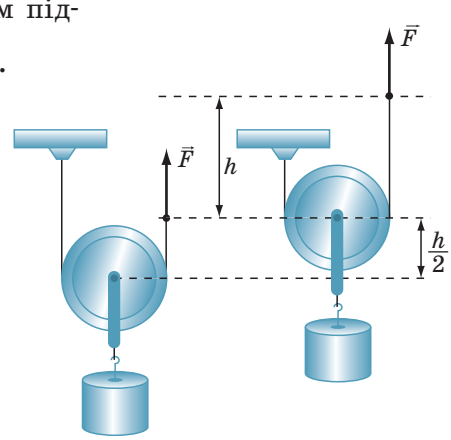


Рис. 35.5. Щоб підняти вантаж на висоту $\frac{h}{2}$, вільний кінець мотузки слід підняти на висоту h

www.e-ranok.com.ua

Як і важіль, рухомий блок можна використовувати й для отримання виграшу у відстані (або виграшу у швидкості руху). Для цього вантаж слід причепити до вільного кінця мотузки, а тягти за обойму, до якої прикріплена вісь блока (рис. 35.6).

Нерухомі та рухомі блоки, як правило, використовують одночасно — у вигляді *системи блоків* (рис. 35.7).

Як ви вважаєте, чи дозволяє зображена на рис. рис. 35.7 система блоків змінити напрямок дії сили? отримати виграш у силі?

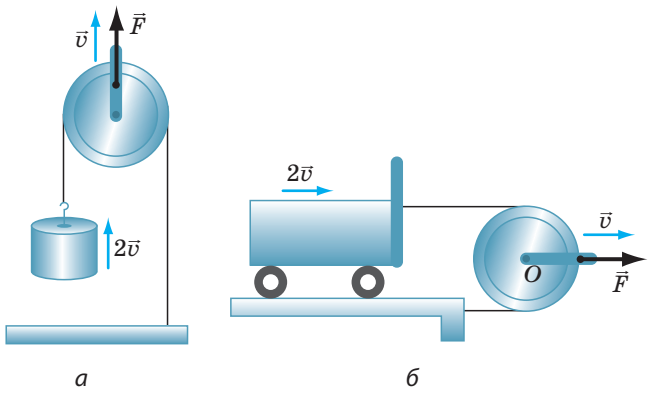


Рис. 35.6. Якщо точку прикладання сили $\vec{F}$ переміщувати з певною швидкістю $\vec{v}$, то вантаж (*а*) і візок (*б*) рухатимуться вдвічі швидше

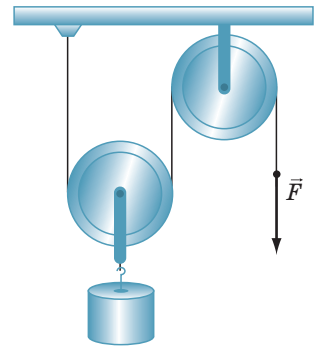


Рис. 35.7. Для підняття вантажів незамінними є комбінації нерухомого та рухомого блоків

3 Учимося розв'язувати задачі

Задача. На рис. 35.8 зображено систему блоків.

Якими є сили натягу мотузок *a* і *b*, якщо маса вантажу дорівнює 20 кг?

Який виграш у силі дає ця система блоків?

На яку відстань h_A опуститься точка *A*, якщо вантаж підніметься на висоту 10 см?

Масою блоків і силою тертя знехтуйте.

Аналіз фізичної проблеми. Система блоків складається з двох рухомих блоків (*1* і *2*) та одного нерухомого блока (*3*). За умовою блоки невагомі, отже, натяг мотузок спричиняється лише вагою вантажу. Для визначення виграшу в силі порівняємо вагу *P* вантажу та силу *F*, яка прикладена до вільного кінця мотузки і під дією якої піднімається вантаж.

Слід урахувати, що, виграшши в силі, ми в стільки ж разів програємо у відстані, на яку переміщується вантаж.

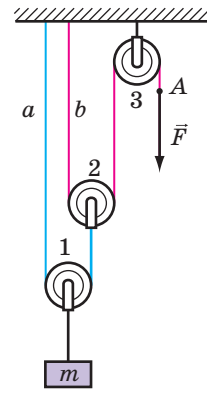


Рис. 35.8. До задачі в § 35

www.e-ranok.com.ua

Дано:
$m = 20$ кг
$h = 10$ см
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
F_a — ?
F_b — ?
$\frac{P}{F}$ — ?
h_A — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Знайдемо вагу вантажу: $P = mg = 20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 200 \text{ Н}$.

Рухомий блок *1*, до обойми якого підвішено вантаж, дає виграш у силі в 2 рази, отже, сила натягу мотузки *a* у 2 рази менша за вагу вантажу: $F_a = \frac{P}{2} = \frac{200 \text{ Н}}{2} = 100 \text{ Н}$.

Рухомий блок *2*, до обойми якого підвішено мотузку *a*, також дає виграш 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 виграш у силі становить: $\frac{P}{F} = \frac{200 \text{ Н}}{50 \text{ Н}} = 4$.

У скільки разів ми виграли в силі, у стільки ж разів програли у відстані: $h_A = 4h = 40$ см.

Аналіз результату: у системі два рухомі блоки, обидва застосовують для виграшу в силі. Кожний рухомий блок дає виграш у силі в 2 рази, тому загальний виграш у силі дорівнює 4. Отже, ми отримали реальний результат.

Відповідь: $F_a = 100$ Н; $F_b = 50$ Н; виграш у силі — 4; $h_A = 40$ см.



Підбиваємо підсумки

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом по ободу, через який перекинуто мотузку (канат). Розрізняють рухомий і нерухомий блоки.

Нерухомий блок подібний до важеля з однаковими плечима, і тому він 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. Рухомий блок також застосовують і для отримання виграшу у відстані (виграшу у швидкості руху).

Для більшої ефективності зазвичай 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 вираз: «Рухомий блок дає програш у відстані в 2 рази»? **7.** Як за допомогою блоків отримати виграш у силі більш ніж у 2 рази?

www.e-ranok.com.ua

Вправа № 35

У завданнях 1–3 масою блоків і дією сили тертя знехтуйте.

1. Розгляньте рис. 1 і дайте відповіді на запитання: а) який блок зображений на рисунку? б) на скільки підніметься вантаж, якщо вільний кінець мотузки витягти 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? На скільки підніметься вантаж, якщо витягти мотузку на 24 см?
3. Вантаж піднімають за допомогою одного нерухомого і двох рухомих блоків (див. рис. 35.8). Якою є маса вантажу і на скільки він підніметься, якщо під дією сили 75 Н вільний кінець мотузки опустити на 60 см?
4. Яку силу F треба прикласти до вільного кінця мотузки (див. рис. 2), щоб підняти вантаж масою 100 кг, якщо маса рухомого блока становить 2 кг? Вважайте, що тертя в осях відсутнє.
5. Вантаж масою m утримується за допомогою системи блоків (рис. 3). Визначте силу натягу кожної мотузки. Тіла системи вважайте невагомими.
6. У системі на рис. 4 маса вантажу *3* дорівнює 1 кг, маса кожного блока — 100 г. Система зрівноважена та нерухома. Знайдіть маси вантажів *1* і *2*. Масою мотузки і тертям у блоках знехтуйте.

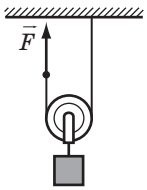


Рис. 1

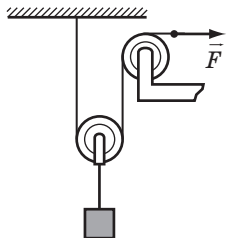
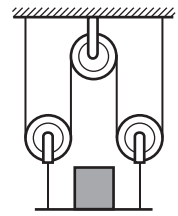


Рис. 2


Рис. 3

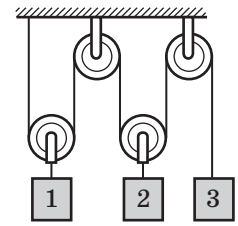
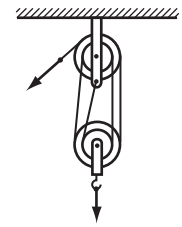


Рис. 4

7. У техніці досить часто використовують *поліспасти* — пристрої, які складаються із системи рухомих і нерухомих блоків. На рис. 5 подано схематичне зображення одного з поліспастів — лебідки. Скористайтесь додатковими джерелами інформації і дізнайтеся про поліспасти більше. Підготуйте повідомлення.


Рис. 5

8. Окрім блоків різновидом важеля є *коловорот* (див., наприклад, рис. 6). Скористайтесь додатковими джерелами інформації і дізнайтеся, що являє собою коловорот, де його застосовують, завдяки чому за допомогою коловорота можна отримати значний виграш у силі. Підготуйте повідомлення.


Рис. 6

Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

www.e-ranok.com.ua

§ 36. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ

Прості механізми — це трудівники зі «стажем роботи» понад 30 століть, проте вони анітрохи не «постаріли», адже в кожному сучасному технічному пристрої обов'язково знайдеться простий механізм, і не один. Ці пристрої дозволяють змінити напрямок дії сили, отримати виграш у силі або відстані. А чи дають вони виграш у роботі?

1 Знайомимося з важливою характеристикою простих механізмів

Ви вже знаєте, що важелі з різними плечима та рухомі блоки дозволяють отримати виграш у силі, однак такий виграш дається не «задарма», адже, отримавши перевагу в силі, ми обов'язково програємо у відстані (рис. 36.1). Давнє так зване «*золоте правило*» *механіки* стверджує: «У скільки разів ми виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані». А чи дійсно це так?

Припустимо, що треба підняти вантаж на певну висоту. Щоб було зручніше, скористаємося нерухомим блоком. Для цього слід перекинути через блок мотузку, прив'язати до неї вантаж і, взявшись за вільний кінець мотузки, рівномірно тягти мотузку вниз (рис. 36.2).

Нерухомий блок можна уявити як рівноплечий важіль, тому сила, з якою тягнуть мотузку, має дорівнювати вазі вантажу: $F = P$. Однак на практиці обертанню блока завжди заважає сила тертя, тому, щоб підняти вантаж, до вільного кінця мотузки слід прикласти силу, більшу за вагу вантажу: $F > P$ (див. рис. 36.2).

Так, при підніманні вантажу на висоту h виконується *корисна робота*:

$$A_{\text{кор}} = Ph.$$

А от *повна робота*, тобто робота, яку виконує вантажник, витягаючи мотузку на довжину, що дорівнює висоті h, обчислюється за формулою:

$$A_{\text{повна}} = Fh.$$

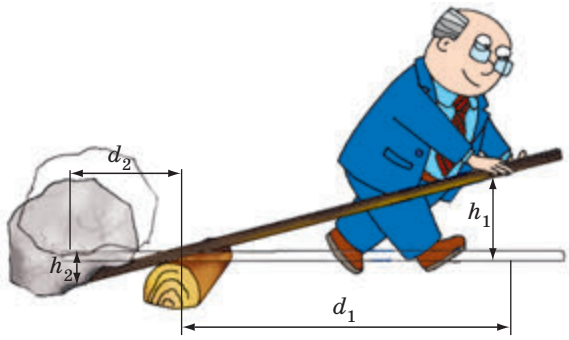


Рис. 36.1. Діючи на довге плече d_1 важеля, ми виграємо в силі. Але висота h_1, на яку ми маємо опустити плече d_2, буде більшою від висоти h_2, на яку підніметься тіло, у стільки разів, у скільки плече d_1 довше за плече d_2

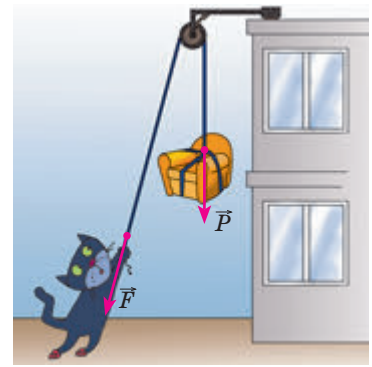


Рис. 36.2. Якщо в блоці є тертя, то сила F, з якою тягнуть мотузку, за значенням більша за вагу P вантажу

www.e-ranok.com.ua

Оскільки $F > P$, то повна робота більша за корисну.

Корисна робота, яку виконують за допомогою будь-якого механізму, завжди менша за повну роботу: $A_{кор} < A_{повна}$. Тільки за ідеальних умов корисна робота може дорівнювати повній роботі, але цього *ніколи не буває*.

Яку частину повної роботи механізм перетворює на корисну, показує фізична величина, яку називають *коефіцієнт корисної дії* (ККД).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізму — це фізична величина, яка характеризує механізм і дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи:

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}}$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) *позначають символом* η (ета). Зазвичай ККД подають *у відсотках*:

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}} \cdot 100\,\%$$

Оскільки в ході використання механізмів корисна робота завжди менша від повної, ККД *будь-якого механізму завжди менший від* 100 %.

2 Досліджуємо похилу площину

Окрім важеля та блока людина з античних часів використовує ще один *простий механізм — похилу площину* (рис. 36.3). За допомогою похилої площини можна піднімати важкі предмети, прикладаючи до них відносно невелику силу.

Дістанемо формулу для визначення ККД похилої площини. Нехай треба підняти тіло масою m на висоту h похилою площиною завдовжки l (рис. 36.4).

Щоб підняти тіло вертикально (без похилої площини), потрібно прикласти до нього силу $\vec{F}_1$, яка за значенням дорівнює силі тяжіння: $F_1 = F_{тяж} = mg$. Тіло необхідно підняти на висоту h, тому корисна робота дорівнюватиме: $A_{кор} = F_1 h = mgh$ (тобто дорівнюватиме збільшенню потенціальної енергії вантажу).

Щоб затягти тіло похилою площиною на ту саму висоту h, слід прикласти силу тяги $\vec{F}$, напрямлену вздовж похилої площини. Робота, яка при цьому виконується (повна робота), обчислюється за формулою: $A_{повна} = Fl$, де l — довжина похилої площини.

За означенням ККД маємо:

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}} = \frac{mgh}{Fl}.$$

www.e-ranok.com.ua

Поміркуйте, як можна збільшити ККД похилої площини.

Руху тіла похилою площиною заважає сила тертя. У разі відсутності тертя між тілом і похилою площиною корисна робота дорівнювала б повній роботі: $A_{кор} = A_{повна}$, тобто $F_1 h = Fl$ (див. рис. 36.4). У такому випадку ми отримали б найбільший виграш у силі:

$$\frac{F_1}{F} = \frac{l}{h}.$$

Властивість похилої площини давати виграш у силі та змінювати напрямок дії цієї сили застосовують у використанні сходів, ескалаторів, конвеєрів, пандусів тощо (рис. 36.5).



Рис. 36.3. Похила площина є незамінною, коли треба підняти вантаж. Чим пологіший ухил площини, тим легше виконати цю роботу

3 Знайомимося з різновидами похилої площини

Одним із різновидів похилої площини є *клин*. Так, щоб полегшити рубання дров, у тріщину колоди вставляють клин і б'ють по ньому обухом сокири (рис. 36.6). Під час удару на клин діють три тіла: зверху — обух сокири, з боків — дві частини колоди.

Відповідно клин діє на обух сокири вгору, а на деревину колоди — в боки, тобто розсуває половинки колоди. Таким чином, клин змінює напрямок сили сокири. Крім того, кожна з двох сил, з якими клин розсуває половинки колоди, набагато більша за силу удару сокири.

Різновидом похилої площини також є *гвинт*. Візьмемо трикутник, вирізаний із тонкого картону, та розташуємо його біля циліндра (рис. 36.7). Похилою площиною слугуватиме ребро картону. Обгорнувши картонний трикутник навколо циліндра, одержимо *гвинтову похилу площину*. Власне, нарізка гвинта — це похила площина, яку багато разів обернуто навколо циліндра. Подібно до клина гвинт може змінювати напрямок і значення прикладеної сили.

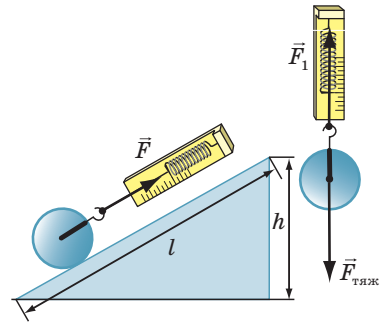


Рис. 36.4. Для втягування тіла вгору похилою площиною потрібна значно менша сила, ніж для підняття цього самого тіла вертикально



Рис. 36.5. Ескалатор є прикладом використання властивостей похилої площини

www.e-ranok.com.ua

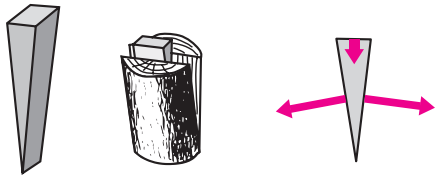


Рис. 36.6. Клин не тільки дає виграш у силі, але й змінює її напрямок

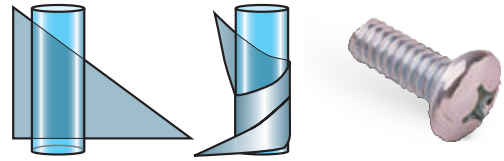


Рис. 36.7. Різновидом похилої площини є гвинт

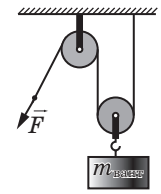
Принцип дії гвинта використовують у багатьох механізмах і пристроях: механічних домкратах і підйомниках, м'ясорубці, лещатах, струбцинах, свердлах, шурупах, різьбових кріпленнях тощо.

Які властивості гвинтової похилої площини ми використовуємо, піднімаючись гірськими «серпантинами»? гвинтовими сходами?

4 Учимося розв'язувати задачі

Зверніть увагу! Якщо в задачі дано ККД або пропонується його знайти, розв'язання краще починати із запису формули для ККД. В умові значення ККД краще подавати в частках (тобто користуватися формулою $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$), а у відповіді краще записувати у відсотках.

Задача. Вантаж масою 95 кг рівномірно піднімають на третій поверх будинку за допомогою рухомого та нерухомого блоків (див. рисунок). Визначте ККД цієї системи, якщо до вільного кінця мотузки прикладають силу 500 Н.



Аналіз фізичної проблеми. Для визначення ККД системи слід знайти: роботу, яку необхідно виконати, щоб підняти вантаж на висоту h, тобто корисну роботу $A_{\text{кор}}$; роботу, яку виконують, коли тягнуть мотузку, діючи на неї з певною силою $\vec{F}$, тобто повну роботу $A_{\text{повна}}$. У системі є один рухомий блок, тому програш у відстані становить 2 рази: піднімаючи вантаж на висоту h, мотузку витягують на довжину $l = 2h$. Нерухомий блок системи тільки змінює напрямок дії сили.

Дано:
$m_{\text{вант}} = 95$ кг
$F = 500$ Н
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
η — ?

Пошук математичної моделі. Розв'язання. За означенням ККД: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$.

Що роблять? Піднімають вантаж на висоту h, тому корисна робота дорівнює збільшенню потенціальної енергії вантажу: $A_{\text{кор}} = m_{\text{вант}} g h$.

Як це роблять? Тягнуть за мотузку, прикладаючи силу $\vec{F}$. Тому повна робота, яку виконують для піднятя вантажу, становить: $A_{\text{повна}} = Fl$, де $l = 2h$. Отже:

$$A_{\text{повна}} = F \cdot 2h .$$

www.e-ranok.com.ua

Підставивши вирази для $A_{\text{кор}}$ і $A_{\text{повна}}$ у формулу ККД, маємо:

$$\eta = \frac{m_{\text{вант}} gh}{F \cdot 2h} = \frac{m_{\text{вант}} g}{2F}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = 1; \quad \eta = \frac{95 \cdot 10}{2 \cdot 500} = \frac{95}{100} = 0{,}95; \quad \eta = 95\,\%.$$

Аналіз результату: ККД механізму менший від 100 % — це правдоподібний результат.

Відповідь: $\eta = 95\,\%$.



Підбиваємо підсумки

Для полегшення праці люди з давніх часів використовували прості механізми — пристрої для перетворення сили. Прості механізми — неодмінні складові й сучасних машин. До простих механізмів належать важіль і його різновиди (рухомий і нерухомий блоки, коловорот); похила площина та її різновиди (клин, гвинт).

На практиці корисна робота, яку виконують 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: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$. Зазвичай ККД подають у відсотках: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\,\%$. ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %.



Контрольні запитання

1. Для чого використовують прості механізми? **2.** Чому на практиці корисна робота завжди менша від повної роботи? **3.** Дайте означення ККД. **4.** Як визначити ККД похилої площини? **5.** Назвіть різновиди похилої площини. **6.** Наведіть приклади використання простих механізмів у сучасних машинах.

Вправа № 36

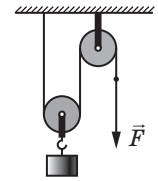
1. Двигун підіймального крана виконав повну роботу 1 кДж. Чи може корисна робота дорівнювати: а) 1530 Дж; б) 1000 Дж; в) 900 Дж?

2. За допомогою простого механізму виконано корисну роботу 120 Дж. Визначте ККД механізму, якщо повна робота дорівнює 150 Дж.

3. Тіло піднімають похилою площиною, виконуючи корисну роботу 180 кДж. Визначте повну роботу, якщо ККД похилої площини 90 %.

4. Тіло піднімають похилою площиною, прикладаючи в напрямку руху тіла силу 50 Н. Визначте масу тіла, якщо довжина похилої площини дорівнює 2 м, її висота — 50 см, а ККД становить 80 %.

www.e-ranok.com.ua



5. Вантаж масою 45 кг піднімають за допомогою пристрою, який складається з рухомого та нерухомого блоків (див. рисунок). Яку силу потрібно прикладати до вільного кінця мотузки, якщо ККД пристрою становить 75 %?
6. Вантаж масою 108 кг підняли за допомогою важеля, прикладаючи вертикальну силу $\vec{F}$, значення якої дорівнює 400 Н. Визначте ККД важеля, якщо плече сили, яка діє на важіль з боку вантажу, втричі менше від плеча сили $\vec{F}$.
7. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про значення ККД деяких механізмів і про роботу, яку вони виконують. Складіть 1–2 задачі за отриманими даними, розв'яжіть їх.



Експериментальне завдання

Огляньте побутову м'ясорубку. Які прості механізми входять до її складу?



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.

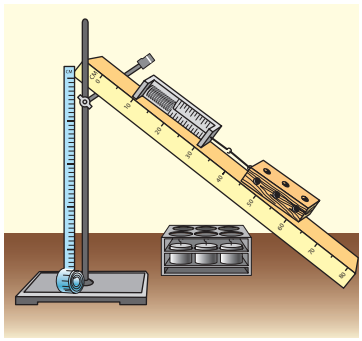
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Тема. Визначення ККД похилої площини.

Мета: переконатися на досліді, що корисна робота, виконана за допомогою похилої площини, менша від повної роботи; визначити ККД похилої площини.

Обладнання: мірна стрічка; динамометр; три тягарці однакової маси; 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 ціни поділок шкал вимірювальних приладів.
3. Зберіть експериментальну установку, як показано на рисунку.

Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Виміряйте за допомогою мірної стрічки довжину l і висоту h похилої площини.

www.e-ranok.com.ua

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_1, що діє на брусок з боку динамометра.
4. Визначте за допомогою динамометра вагу одного 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.

   Зверніть увагу! У кожному з цих дослідів, щоб знайти вагу тіла, слід до ваги бруска додати вагу тягарця (тягарців).

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліду обчисліть:
   1) повну роботу ($A_{\text{повна}} = Fl$);
   2) корисну роботу ($A_{\text{кор}} = Ph$, де P — вага тіла);
   3) виграш у силі, який дає похила площина $\left(\frac{P}{F}\right)$;
   4) ККД похилої площини $\left(\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\,\% = \frac{Ph}{Fl} \cdot 100\,\%\right)$.
2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліду	Вага тіла (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)	Виграш у силі $\left(\frac{P}{F}\right)$	ККД (η, %)

Аналіз експерименту та його результатів

1) Для кожного досліду порівняйте значення сили (F) зі значенням ваги тіла (P) і зробіть висновок про виграш у силі, який дає похила площина.
2) 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 в разі зміни кута нахилу площини?

www.e-ranok.com.ua

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
$A = Fl$ $[A]$ = Дж $1\,\text{Дж} = 1\,\text{Н}\cdot 1\,\text{м}$ Характеризує рух тіла, до якого прикладено силу	$[E]$ = Дж Характеризує здатність тіла (або системи тіл) виконувати роботу	$N = \frac{A}{t}$ $[N]$ = Вт; $1\,\text{Вт} = \frac{1\,\text{Дж}}{1\,\text{с}}$ Характеризує швидкість виконання роботи

2. Ви навчилися розрізняти *кінетичну і потенціальну енергії* та дізналися про *повну механічну енергію*.

МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

Кінетична енергія	**Потенціальна енергія**	
$E_k = \frac{mv^2}{2}$	піднятого тіла $E_p = mgh$	пружно деформованої пружини $E_p = \frac{kx^2}{2}$

Повна механічна енергія тіла (системи тіл): $E_{\text{повна}} = E_k + E_p$

3. Ви ознайомились із *законом збереження і перетворення механічної енергії* та дізнались, *як змінюється механічна енергія*, якщо існує тертя:

За умови відсутності тертя виконується *закон збереження і перетворення механічної енергії*:

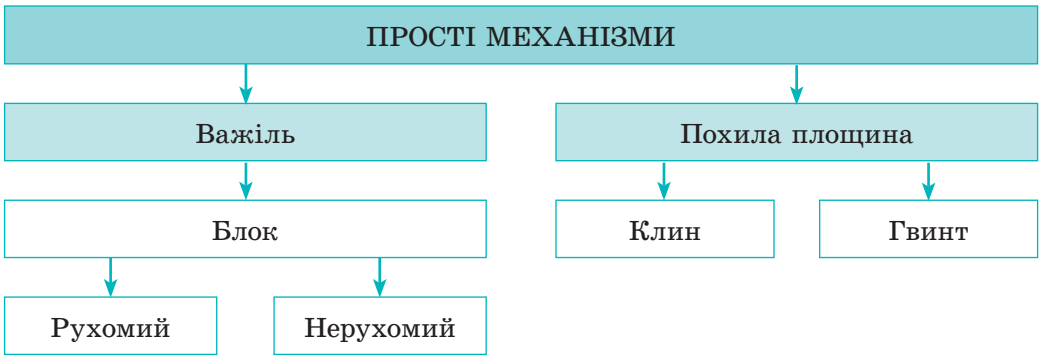
$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$$

Якщо в системі існує тертя, то повна механічна енергія системи зменшується:

$$E_{\text{повна}0} > E_{\text{повна}}$$

www.e-ranok.com.ua

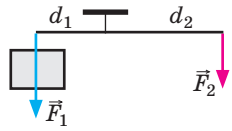
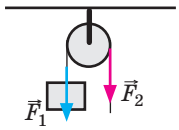
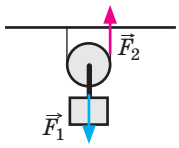
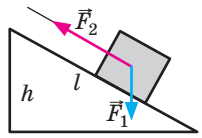
4. Ви ознайомилися з *простими механізмами*.



5. Ви з'ясували, що жоден *простий механізм не дає виграшу в роботі*, та ознайомилися з фізичною величиною — *коефіцієнтом корисної дії механізму*.

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\,\%$$

Використання простих механізмів для підйому тіл

Простий механізм	Виграш у силі за ідеальних умов	Виграш у відстані	ККД за реальних умов	Причини зменшення ККД
Важіль 	$\frac{d_2}{d_1}$	$\frac{d_1}{d_2}$	$\eta = \frac{F_1 d_1}{F_2 d_2}$	Вага важеля, сила тертя в осі важеля
Блок нерухомий 	Не дає	Не дає	$\eta = \frac{F_1}{F_2}$	Вага мотузок, сила тертя в осі блока
Блок рухомий 	2	0,5	$\eta = \frac{0{,}5F_1}{F_2}$	Вага блока і мотузок, сила тертя в осі блока
Похила площина 	$\frac{l}{h}$	$\frac{h}{l}$	$\eta = \frac{F_1 h}{F_2 l}$	Сила тертя

www.e-ranok.com.ua

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 4 «Механічна робота та енергія»

У завданнях 1–9 виберіть одну правильну відповідь.
Вважайте, що $g = 10$ Н/кг.

1. (*1 бал*) За відомими силою тяги літака та шляхом, який подолав літак у напрямку дії цієї сили, можна визначити:
а) швидкість руху літака;
б) потужність, яку розвиває сила тяги літака;
в) роботу сили тяги літака;
г) час руху літака.

2. (*1 бал*) Автомобіль рухається горизонтальною ділянкою дороги з певною швидкістю. Зі збільшенням швидкості руху автомобіля в 2 рази:
а) кінетична енергія автомобіля збільшується в 4 рази;
б) потенціальна енергія автомобіля збільшується в 4 рази;
в) ККД двигуна автомобіля збільшується в 2 рази;
г) кінетична енергія автомобіля збільшується в 2 рази.

3. (*1 бал*) Якщо потужність механізму дорівнює 100 Вт, то цей механізм:
а) за 100 с виконує роботу 1 Дж;
б) за 10 с виконує роботу 10 Дж;
в) за 1 с виконує роботу 0,01 Дж;
г) за 1 с виконує роботу 100 Дж.

4. (*1 бал*) Рухомий блок застосовують:
а) для виграшу в силі або у відстані;
б) лише для виграшу в силі;
в) для виграшу в роботі;
г) для зміни напрямку сили.

5. (*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;
б) виграш у відстані в 6 разів;
в) програш у відстані в 36 разів;
г) виграш у відстані в 36 разів.

6. (*2 бали*) Яку роботу треба виконати, щоб витягти відро з водою із колодязя завглибшки 12 м? Маса відра з водою дорівнює 8 кг.
а) 1,5 Дж; б) 15 Дж; в) 96 Дж; г) 960 Дж.

7. (*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.

8. (*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.

9. (*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.

10. (*3 бали*) Кит, плаваючи під водою зі швидкістю 18 км/год, розвиває потужність 150 кВт. Визначте силу опору води.

www.e-ranok.com.ua

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 A переміститься на 20 см? Масою блоків і силою тертя знехтуйте.

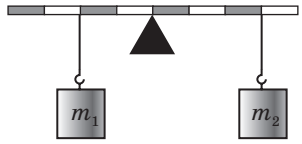


Рис. 1

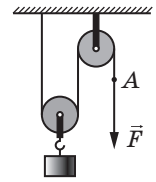


Рис. 2

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 в 2 рази. Опір повітря не враховуйте.

19. (*4 бали*) Тіло масою 5 кг розташоване на горизонтальній площині. Тіло почало рухатися в напрямку рівнодійної і, подолавши шлях 10 м, набуло швидкості руху 10 м/с. Визначте рівнодійну сил, що діють на тіло.

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».

www.e-ranok.com.ua

Навіщо свідомо знищувати автомобілі

Народна мудрість говорить: «Знав би, де впадеш, соломки підстелив би». Здебільшого цей вираз використовують у переносному значенні, проте й буквальне 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 падіння. А як згадану народну мудрість використовують інженери?

Якщо тіло під час руху зіткнеться з перешкодою, то відбудеться деформація тіла та перешкоди. 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 це може стати трагедією.

Зрозуміло, що конструктори автомобілів не можуть повністю запобігти аварій, проте вони намагаються зробити так, щоб їх наслідки були якомога меншими.

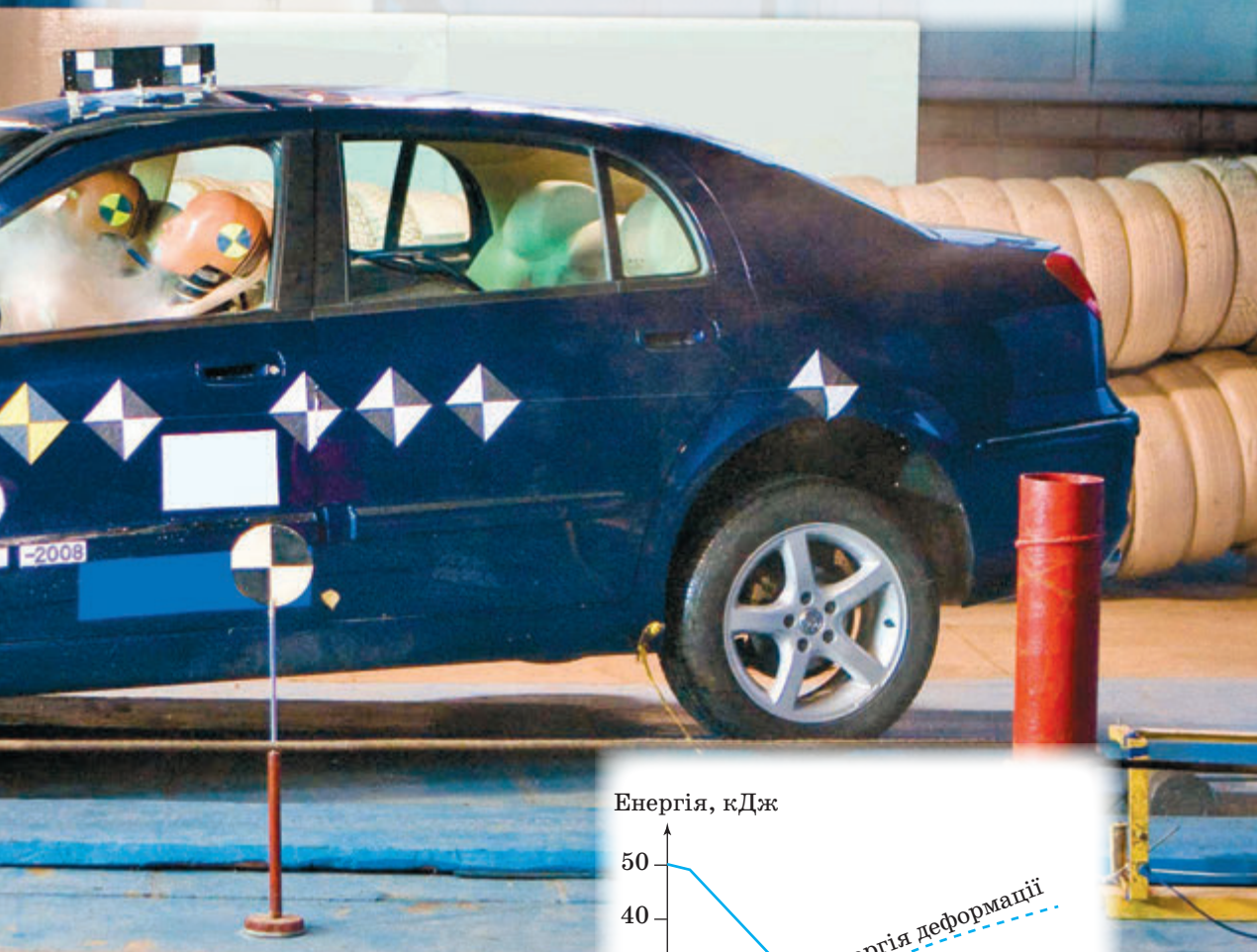


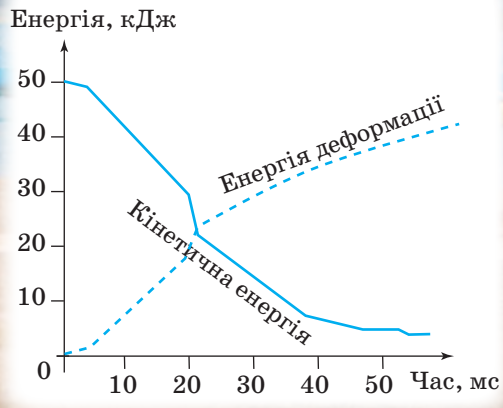
Для цього автомобілі конструюють таким чином, щоб деформації зазнавала тільки його передня (задня) частина, а салон був якнайкраще захищений від зминання. Перевірку своїх ідей інженери здійснюють за допомогою так званих *краш-тестів*. Для проведення такого тесту абсолютно новий автомобіль оснащують величезною кількістю датчиків, у салоні розміщують манекени, які теж мають датчики. Після цього автомобіль розганяють до швидкості 40–60 км/год і спрямовують на перешкоду.

www.e-ranok.com.ua

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, є величезним.

На схемі наведено графік залежності кінетичної енергії автомобіля й енергії деформації від часу. Відлік часу починається в момент зіткнення автомобіля зі стіною. Уважні учні, напевно, помітять: якщо додати значення 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.





Результати краш-тесту: залежність кінетичної енергії (суцільна лінія) і енергії деформації (штрихова лінія) від часу випробовування. 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.
9. Важелі в нашому організмі.
10. Чи зміг би Архімед зрушити Землю?
11. Блоки та поліспасти на яхтах і вітрильниках.
12. Старовинні бойові катапульти.

Теми експериментальних досліджень

1. Визначення потужності, яку розвивають школярі на уроках фізкультури.
2. Визначення ККД велосипеда під час нерівномірного руху.
3. Виготовлення поліспаста з підручних засобів і визначення його ККД.
4. Виготовлення пристрою, який працює на енергії падіння води. Оцінювання його ККД.
5. Визначення силових характеристик м'язів плеча під час підйому важкого портфеля.
6. Вимірювання потужності струменя води, що тече з крану під час умивання.

www.e-ranok.com.ua

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 допомагає вирішенню завдань проекту.

У ході 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 збірка електронних матеріалів проекту, які впорядковано 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 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 виділити час для її ретельної підготовки. Переконайтеся, що ви виконали всі завдання проекту. Підготуйте доповідь. Для доповіді вибирайте найголовніше, викладайте свої думки коротко, чітко, зрозуміло.

www.e-ranok.com.ua

Якщо ви плануєте презентувати проект із комп'ютерною підтримкою, то заздалегідь напишіть план, у якому позначте послідовність слайдів. Орієнтовно це можна зробити так:

Зміст слайда	Зміст доповіді
Тема проекту, виконавці	Повідомлення теми проекту, представлення виконавців
Ключове питання	Повідомлення ключового питання, яке відображає тему та мету проекту
Матеріали проекту	Розповідь про дослідження
Висновки	Оголошення висновків
Список джерел	Презентація джерел, що були використані в ході роботи над проектом
Подяка	Подяка всім, хто допомагав у роботі над проектом. Подяка всім присутнім за увагу, побажання 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.

www.e-ranok.com.ua

ТАБЛИЦІ ГУСТИН ДЕЯКИХ РЕЧОВИН

(за температури 0 °С і тиску 760 мм рт. ст.)

Таблиця густин деяких речовин у твердому стані

Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Алюміній	2700	2,70	Олово	7300	7,30
Бетон	2200	2,20	Оргскло	1200	1,20
Граніт	2600	2,60	Осмій	22 500	22,50
Дуб сухий	800	0,80	Парафін	900	0,90
Залізо	7800	7,80	Платина	21 500	21,50
Золото	19 300	19,30	Поліетилен	940	0,94
Іридій	22 400	22,40	Порцеляна	2300	2,30
Капрон	1140	1,14	Свинець	11 300	11,30
Корок	240	0,24	Скло	2500	2,50
Крейда	2400	2,40	Сосна суха	440	0,44
Латунь	8500	8,50	Срібло	10 500	10,50
Лід	900	0,90	Сталь	7800	7,80
Мармур	2700	2,70	Цинк	7100	7,10
Мідь	8900	8,90	Чавун	7000	7,00

Таблиця густин деяких речовин у рідкому стані

Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Ацетон	790	0,79	Мастило	900	0,90
Бензин	710	0,71	Мед	1420	1,42
Бензол	880	0,88	Олія	900	0,90
Вода морська	1030	1,03	Олово рідке (за $t = 409$ °С)	6830	6,83
Вода чиста	1000	1,00	Нафта	800	0,80
Гас	800	0,80	Ртуть	13 600	13,60
Гліцерин	1260	1,26	Спирт	800	0,80
Дизельне паливо	840	0,84	Сульфатна кислота	1800	1,80

Таблиця густин деяких речовин у газоподібному стані

Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Азот	1,250	0,001 25	Кисень	1,430	0,001 43
Водень	0,090	0,000 09	Повітря	1,290	0,001 29
Вуглекислий газ	1,980	0,001 98	Чадний газ	1,250	0,001 25
Гелій	0,180	0,000 18	Хлор	3,210	0,003 21

www.e-ranok.com.ua

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ 1 «Фізика як природнича наука. Методи наукового пізнання»

№ 1. **3.** Механічне; теплове; світлове.

№ 2. **1.** Так. **3.** Ні. **4.** $1\cdot10^{7}$; $5\cdot10^{3}$; $2{,}5\cdot10^{3}$; $4\cdot10^{2}$. **5.** 5 млн молекул. **6.** Діаметр молекул не менший ніж 1 нм.

№ 3. **1.** Дослід Ньютона; перо та молоток впали на поверхню Місяця одночасно. **2.** Однакові. Експериментальним методом. **3.** 1–в, 2–а, 3–б.

№ 4. **1.** 0,145 м; 1500 м; 2032 м. **2.** Масса, m, кг; швидкість, v, м/с; довжина, l, м. **3.** Верхня межа — 60 мл, нижня — 2 мл; $C = 2$ мл. **4.** 7,5 мкм; 5,9 Тм; 6,4 Мм. **5.** 420 м^2; $4{,}2\cdot10^{4}$ дм^2; $4{,}2\cdot10^{6}$ см^2.

№ 5. **1.** У випадку вимірювання лінійкою. **2.** 1) $l=(2{,}0\pm0{,}5)$ см, $d=(2{,}5\pm0{,}5)$ см, $h=(4{,}0\pm0{,}5)$ см; 2) $\varepsilon_l=25\,\%$, $\varepsilon_d=20\,\%$, $\varepsilon_h=12{,}5\,\%$; 3) результат вимірювання висоти. **3.** 11. **4.** а) 3; б) 3,1; в) 3,14; г) 3,142; д) 3,1416.

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; см^3; 0,2 см^3; 40 см^3; 70 см^3; 0,2 см^3. Термометр; температура; ° С; 0,1 °С; 22 °С; 53 °С; –32 °С. **11.** 1–Б; 2–Г; 3–В; 4–Є; 5–А; 6–Д. **12.** 2 мм. **13.** 60.

Розділ 2 «Механічний рух»

№ 6. **3.** а) Так; б) ні. **4.** $l_{\text{д–к}}=3$ км; $l_{\text{д–с}}=4{,}5$ км; $l_{\text{к–с}}=1{,}5$ км. **5.** $A(200;100)$, $B(200;-1400)$, $C(-200;-1400)$.

№ 7. **1.** $l=10$ км, $s_{\min}=0$. **2.** а) точка A — коло, точка B — точка, б) точка A — гвинтова лінія, точка B — пряма лінія. **3.** а) Відносно потяга — 7,5 м, відносно землі — 407,5 м; б) відносно потяга — 7,5 м, відносно землі — 392,5 м. **4.** $s=10$ м; не можна. **5.** а) $l\approx41$ м, $s=26$ м; б) $l\approx82$ м, $s=0$. **7.** а) 2,5; б) 4; в) 15.

№ 8. **1.** 40 км; **2.** 0,55 м/с; 0,45 м/с. **3.** 54 км/год = 15 м/с, 16 м/с > 54 км/год. **4.** 5 м/с; 30 м/с; 0,012 м/с. **5.** 7,2 км/год; 1800 км/год; 0,72 км/год. **6.** $\approx 9{,}5\cdot10^{12}$ км.

№ 9. **1.** 0,5 год. **2.** 54 км. **3.** Додому; у ≈1,3 разу. **4.** 1 м/с, або 3,6 км/год. **5.** Швидше за всіх — третій учень; подолав найбільшу відстань і біг довше за всіх — другий учень. **6.** 50 с.

№ 10. **1.** Тіла рухалися рівномірно; найшвидше — тіло I. **3.** I — пішохід, II — велосипедист, III — трактор. **4.** а) 500 м; б) 50 с; в) 300 м. **5.** б) від 0 до 2 с швидкість руху була 15 м/с, від 2 до 6 с — 5 м/с, від 6 до 10 с — 0; в) 50 м. **7.** а) 3,5 м/с; б) 2,5 год; г) 25 м.

№ 11. **2.** 10 км/год. **3.** 70 км/год. **4.** а) 10 м/с; б) 12,5 м/с; в) 20 м/с. **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; 31,5 км/год.

№ 12. **1.** 0,75 с. **2.** 15 об/с. **3.** 5 об/с. **4.** 16,7 мс. **5.** Якщо рух рівномірний. **6.** ≈ 0,67 с. **7.** $n\approx160$ об/с; $T\approx6{,}3$ мс. **9.** 42 100 км.

№ 13. **1.** 2 см. **2.** 2 с. **3.** 2 Гц. **4.** 480. **6.** 12 м.

Завдання для самоперевірки до розділу 2

1. б. **2.** г. **3.** б. **4.** а. **5.** в. **6.** в. **7.** б. **8.** г. **9.** а. **10.** 0,9 м/с; 3,24 км/год. **11.** 50 000. **12.** 3 км/год. **13.** Через 4 с. **14.** $v_{\max}=75$ км/год, $l\approx2$ км. **15.** $v_2=70$ км/год; $v_{\text{сер}}=80$ км/год.

www.e-ranok.com.ua

Розділ 3 «Взаємодія тіл. Сила».
Частина І. Сила. Види сил

№ 14. **2.** Земля і вода; дії скомпенсовані. **4.** Можна. **5.** Від газів, які вилітають із сопла ракети. **7.** $5{,}3 \cdot 10^3$ кг; $2{,}5 \cdot 10^2$ кг; 4,7 кг; $1{,}5 \cdot 10^4$ кг.

№ 15. **1.** Ліворуч. **2.** 189 г 740 мг. **3.** 45 кг. **5.** 145,23 г. **8.** а) 5300 кг; б) 250 кг; в) 4,7 кг; г) 0,15 кг. **9.** а) 5230 г; б) 270,84 г; в) 56,091 г.

№ 16. **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.** З оргскла; у 1,5 разу.

№ 17. **1.** Із сосни. **2.** 100 л. **3.** а) $\rho = 900$ кг/м^3; б) $V = 200$ см^3; в) $m = 2{,}5 \cdot 10^4$ кг. **4.** Має порожнину; $\rho_ф = 10{,}1$ г/см^3, це менше від густини срібла. **5.** 1200 т. **6.** Маса повітря більша. **7.** 2,7 г/см^3; може бути алюміній. **9.** 0,4 кг.

№ 18. **2.** 300 Н; 0. **3.** 120 Н або 20 Н. **5.** 1 кН. **6.** Так. **7.** 20 Н; 80 Н; 120 Н; 180 Н; 8 розв'язків.

№ 19. **1.** Стільниця деформується; вгору. **2.** 10 см. **3.** 2 Н. **4.** а) 50 Н/м; б) 20 кН/м; в) 600 кН/м. **5.** а) $k = 650$ Н/м; б) $F = 0{,}8$ Н; в) $x = 3$ м. **6.** 168 Н. **7.** $k_1 = 2$ кН/м, $k_2 = 500$ Н/м; $x_1 = 2{,}5$ см, $x_2 = 10$ см. **8.** 45 см.

№ 20. **2.** Вага діє на стіл. **3.** 6 Н. **4.** 60 кг. **5.** 14,2 Н. **6.** 70 Н. **8.** 100 г. **9.** $\approx 3{,}1$ г/см^3, 40 Н/м.

№ 21. **1.** Ні. **2.** Тертя ковзання замінюється рідким тертям. **3.** а) 3 Н; б) брусок буде зберігати стан спокою; 2 Н. **4.** а) збільшувалась; б) швидкість руху шафи буде збільшуватися. в) 0,25. **5.** 5 см.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина І

1. г. **2.** б. **3.** а. **4.** б. **5.** в. **6.** г. **7.** в. **8.** а. **9.** $\vec{F}_1$ — сила тертя, $\vec{F}_2$ — сила тяги; $F_1 = F_2$. **10.** $F_{тяж} = 80$ 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.** 250 кг. **15.** 750 Н/м. **16.** 8540 кг/м^3.

Частина ІІ. Тиск. Закон Архімеда. Плавання тіл

№ 22. **1.** Зменшиться. **3.** 3 МПа. **4.** На 1 м^2 ґрунту трактор діє із силою 45 кН; 67,5 кН. **5.** 350 Па; 15 000 Па; 360 Па. **6.** 60 кг.

№ 23. **1.** Збільшиться; не можна. **3.** Збільшиться. **4.** На законі Паскаля. **7.** 1,6 кг. **8.** 400 кг. **10.** 1200 Н.

№ 24. **1.** 200 Па. **2.** 1 МПа. **3.** Збільшиться. **4.** ≈ 90 см. **5.** Тиск однаковий; $F_{тиску\,2} > F_{тиску\,1}$. **7.** Так. **8.** 80 кг. **9.** 24 кН; $\approx 2{,}4$ т.

№ 25. **1.** Так. **2.** Тиск повітря над поверхнею води в соломинці менший від атмосферного. **4.** $\approx 133{,}3$ Па. **5.** 73,3 кПа; 700 мм рт. ст. **7.** 220 м.

№ 26. **1.** Більший. **2.** На 2 кПа. **4.** 94,6 кПа. **6.** 73 гПа. **8.** 4 м.

№ 27. **1.** а) $F_{арх\,1} = F_{арх\,2} = F_{арх\,3}$; б) $F_{арх\,3} < F_{арх\,1} < F_{арх\,2}$; в) $F_{арх\,1} < F_{арх\,2} < F_{арх\,3}$; г) $F_{арх\,1} = F_{арх\,2} = F_{арх\,3}$. **2.** Щоб на човен почала діяти виштовхувальна сила. **3.** 3,2 Н. **4.** 1 дм^3. **5.** 1/4 частина бруска. **6.** 6 Н. **7.** 5,4 кг; 2700 кг/м^3. **8.** Закон Паскаля — так; закон Архімеда — ні. **9.** 1,4 т. **10.** Ні.

№ 28. **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 м^3, 14 т. **9.** А–4, Б–3, В–2, Г–1. **11.** 2500 кг/м^3, 80 Н, $\rho_т = m_т / V_т$, $F_{арх} = V_т \rho_р g$; 80 кг, 20 дм^3, $m_т = \rho_т V_т$, $V_т = F_{арх} / \rho_р g$; 250 см^3, 800 кг/м^3, $V_т = m_т \rho_т$, $\rho_р = F_{арх} / g V_т$.

№ 29. **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.** Зменшиться на 583 м^3. **6.** 0,99 кг/м^3.

www.e-ranok.com.ua

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина II

1. б. **2.** б. **3.** б. **4.** в. **5.** в. **6.** а. **7.** в. **8.** 50 МПа. **9.** А–5, Б–3, В–2, Г–1. **10.** б, в, а, г. **11.** 57,3 кПа. **12.** 1020 мм рт. ст. **13.** 99 кПа. **14.** 15 м. **15.** 16 см. **16.** 4 мм. **17.** 200 $см^3$. **18.** 4000 $кг/м^3$.

Розділ 4 «Механічна робота та енергія»

№ 30. **1.** Ні; ні. **2.** а) Ні; б) ні; в) так, від'ємну; г) так, додатну. **4.** 3 м. **5.** Сила тяжіння; 200 Дж. **6.** 1 м/с. **7.** 120 Дж. **9.** 200 Дж.

№ 31. **1.** Одинадцятикласник. **2.** 3,2 кДж. **3.** 6 с. **4.** Так, зменшиться. **5.** 50 кН. **7.** 12,5 кВт. **8.** $7{,}5\cdot10^5$ $м^3$. **10.** 25 Дж, $A=mgh$; 15 т, $m=A/gh$; 0,9 м, $h=A/mg$.

№ 32. **2.** Потенціальна енергія під час зльоту збільшується, під час посадки зменшується, кінетична енергія — навпаки. **3.** 24 Дж. **4.** 2,5 кДж. **5.** 40 см. **6.** 2,5 кг. **7.** 12,8 Дж. **9.** 0,025 м/с. **10.** А–5, Б–3, В–2, Г–1.

№ 33. **1.** Ні. **3.** 250 Дж. **4.** 180 Дж. **5.** $E_k = E_p = 50$ Дж. **6.** 15 м. **7.** 2,4 м. **8.** 50 кДж.

№ 34. **1.** Хлопчика. **2.** 54 Н. **3.** 16 кг. **4.** 18 кг; 30 кг. **5.** 30 см. **6.** 3; 2. **7.** 20 кг; 350 Н. **8.** 2,3 кг.

№ 35. **1.** а) Рухомий; б) на 5 см; в) 30 Н. **2.** 8 кг; на 12 см. **3.** 30 кг; 15 см. **4.** 510 Н. **5.** $mg/4$; $mg/2$. **6.** $m_1 = m_2 = 1{,}9$ кг.

№ 36. **1.** а) Ні; б) ні; в) так. **2.** 80 %. **3.** 200 кДж. **4.** 16 кг. **5.** 300 Н. **6.** 90 %.

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.** $E_p = 75$ Дж; $E_k = 25$ Дж. **19.** 25 Н.

www.e-ranok.com.ua

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

А
Амплітуда коливань 86
Атмосфера 164
Атом 13

Б
Барометр 166
Блок 228
— нерухомий 228
— рухомий 229

В
Вага тіла 137
Важіль 220
Ват 205
Видовження 128

Г
Гіпотеза 19
Графік
— швидкості руху 70
— шляху 68
Густина 113
Густин таблиці 114, 249

Д
Деформація 126
Джоуль 200
Динамометр 129
Дифузія 15

Е
Експеримент (дослід) 19
Енергія 209
— кінетична 212
— повна механічна 212
— потенціальна 210
Еталон 106

Ж
Жорсткість 128

З
Закон
— Архімеда 177
— Гука 128
— збереження і перетворення енергії 214
— збереження і перетворення механічної енергії 216
— інерції 102
— Паскаля 156

І
Інерція 102
Інертність 105

К
Кілограм 106
Коефіцієнт
— корисної дії 234
— тертя ковзання 142
Коливання 85

М
Манометр 171
Маса тіла 106
Матеріальна точка 51
Матерія 7
Маятник 85
Межі вимірювання приладу 29
Міжнародна система одиниць СІ 26
Молекула 13
Молекулярно-кінетична теорія 17
Момент сили 222

Н
Невагомість 138
Ньютон 122

О
Одиниця
— кратна 26
— частинна 26

П
Паскаль 151
Переміщення 56
Період
— коливань 87
— обертання 79
Плече сили 221
Поле 8
Посудини сполучені 169
Потужність 205
Похибка вимірювання 33
Похила площина 234
Правило
— важеля 221
— моментів 223
Прес гідравлічний 157
Прискорення вільного падіння 136, 166

Р
Речовина 7
Робота механічна 200
Рух
— за інерцією 102
— коливальний 85
— механічний 50
— нерівномірний 73
— рівномірний 59
— — по колу 79
— — прямолінійний 59

С
Сила 121
— архімедова (виштовхувальна) 176
— натягу підвісу 128
— нормальної реакції опори 127
— пружності 127
— рівнодійна 123
— тертя ковзання 141
— тертя кочення 144
— тертя спокою 141
— тяжіння 136
Система відліку 51
Спостереження 19

Т
Тіло
— відліку 50
— фізичне 7
Тиск 151
— атмосферний 165
— гідростатичний 160
Траєкторія руху 54

Ф
Фізика 10
Фізична величина 25
— модель 21
Фізичне дослідження 19
— явище 9

Ц
Ціна поділки шкали приладу 28

Ч
Частота
— коливань 87
— обертова 80

Ш
Швидкість
— рівномірного руху 60
— середня 74
Шлях 55

www.e-ranok.com.ua

ЗМІСТ

Розділ 1. Фізика як природнича наука. Пізнання природи

§ 1. Фізика — наука про природу. Фізичні тіла та фізичні явища 6
§ 2. Будова речовини. Молекули. Атоми 13
§ 3. Наукові методи вивчення природи. Внесок українських учених у розвиток фізики 18
§ 4. Фізичні величини. Вимірювання фізичних величин 24
Лабораторна робота № 1 32
§ 5. Похибки й оцінювання точності вимірювань 33
Лабораторна робота № 2 37
Лабораторна робота № 3 39
Підбиваємо підсумки розділу 1 42
Завдання для самоперевірки до розділу 1 44
Енциклопедична сторінка 46
Теми рефератів і повідомлень 48
Теми експериментальних досліджень 48

Розділ 2. Механічний рух

§ 6. Механічний рух. Відносність руху. Система відліку. Матеріальна точка 50
§ 7. Траєкторія руху. Шлях. Переміщення 54
§ 8. Рівномірний рух. Швидкість руху 58
§ 9. Учимося розв'язувати задачі 64
§ 10. Графіки рівномірного руху 67
§ 11. Нерівномірний рух. Середня швидкість нерівномірного руху 73
§ 12. Рівномірний рух матеріальної точки по колу. Період обертання 78
Лабораторна робота № 4 83
§ 13. Коливальний рух. Амплітуда, період і частота коливань 85
Лабораторна робота № 5 90
Підбиваємо підсумки розділу 2 92
Завдання для самоперевірки до розділу 2 94
Енциклопедична сторінка 96
Теми рефератів і повідомлень 98
Теми експериментальних досліджень 98

Розділ 3. Взаємодія тіл. Сила

Частина І. Сила. Види сил

§ 14. Явище інерції 100
§ 15. Інертність тіла. Маса 105
Лабораторна робота № 6 110
§ 16. Густина. Одиниці густини 112
Лабораторна робота № 7 117
§ 17. Учимося розв'язувати задачі 118
§ 18. Сила — міра взаємодії. Графічне зображення сил. Додавання сил 121

www.e-ranok.com.ua

§ 19. Деформація тіла. Сила пружності. Закон Гука 126
Лабораторна робота № 8 133
§ 20. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість 135
§ 21. Тертя. Сила тертя 140
Лабораторна робота № 9 146
Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина I. 148

Частина II. Тиск. Закон Архімеда. Плавання тіл

§ 22. Тиск твердих тіл на поверхню. Сила тиску 150
§ 23. Тиск газів і рідин. Закон Паскаля 154
§ 24. Гідростатичний тиск 160
§ 25. Атмосферний тиск і його вимірювання. Барометри 164
§ 26. Сполучені посудини. Манометри 169
§ 27. Виштовхувальна сила в рідинах і газах. Закон Архімеда 175
§ 28. Умови плавання тіл 180
Лабораторна робота № 10 185
§ 29. Судноплавство та повітроплавання. 187
Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина II 192
Підбиваємо підсумки розділу 3 194
Енциклопедична сторінка. 196
Теми рефератів і повідомлень. 198
Теми експериментальних досліджень 198

Розділ 4. Механічна робота та енергія

§ 30. Механічна робота. Одиниця роботи. 200
§ 31. Потужність 204
§ 32. Механічна енергія. Потенціальна і кінетична енергії тіла 208
§ 33. Закон збереження і перетворення механічної енергії 214
§ 34. Момент сили. Умова рівноваги важеля. 220
Лабораторна робота № 11 226
§ 35. Рухомий і нерухомий блоки 228
§ 36. Прості механізми. Коефіцієнт корисної дії механізмів 233
Лабораторна робота № 12 238
Підбиваємо підсумки розділу 4 240
Завдання для самоперевірки до розділу 4. 242
Енциклопедична сторінка. 244
Теми рефератів і повідомлень. 246
Теми експериментальних досліджень 246

Етапи роботи над навчальним проектом 247
Таблиці густин деяких речовин 249
Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки 250
Алфавітний покажчик 253

www.e-ranok.com.ua

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	в кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Під час підготовки видання були використані фотоматеріали із сайтів:
www.morguefile.com; www.freepik.com; www.pixelbrush.ru; www.ru.wikipedia.org;
www.liveinternet.ru; www.polytechnic.kpi.kharkov.ua; www. wikimapia.org;
www.elitefon.ru; www.jurnal.md; www.tennis.sport.ua; www.dymkatoy.ru;
www.uk.wikipedia.org; www.nasa.gov; www.veralline.com; www.szabotoi.ru
www.vesti-ua.net; constituanta.blogspot.com

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович, ДОВГИЙ Станіслав Олексійович,
БОЖИНОВА Фаїна Яківна, ГОРОБЕЦЬ Юрій Іванович,
НЕНАШЕВ Ігор Юрійович, КІРЮХІНА Олена Олександрівна

«ФІЗИКА»
підручник для 7 класу загальноосвітніх навчальних закладів
За редакцією В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Редактори *Морева І. Л., Костіна О. В.*
Технічний редактор *Сміян О. В.*
Коректор *Красна Н. О.*

Т470007У. Підписано до друку 17.09.2015. Формат 70x100/16.
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 20,74. Обл.-вид. арк. 24,89.

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.
З питань реалізації: (057) 727-70-80, 727-70-77. E-mail: commerce@ranok.com.ua

www.ranok.com.ua

www.e-ranok.com.ua

На базі підручника створено навчально-методичний комплект «Фізика-7»

До комплекту входять:

- ПІДРУЧНИК
- Збірник задач
- Зошит для лабораторних робіт
- Зошит для контролю навчальних досягнень
- Розробки уроків

Підручник відрізняє наявність таких матеріалів:

- Тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- Алгоритми розв'язання основних типів фізичних задач
- Завдання для самоперевірки
- Домашні експериментальні завдання
- Покрокові описи лабораторних робіт
- Тематичне узагальнення і систематизація матеріалу
- Приклади практичного застосування фізики
- Відомості про досягнення фізики і техніки в Україні

ІНТЕРНЕТ-ПІДТРИМКА

Матеріали до підручника

interactive.ranok.com.ua

Інтернет-підтримка дозволить:

- здійснити інтерактивне онлайн-тестування за кожною темою
- дізнатися про життя і діяльність видатних учених
- унаочнити фізичний дослід або процес

Відеоролики демонстраційних і фронтальних експериментів створені на базі лабораторії МанЛаб Національного центру «Мала академія наук України»

ISBN 978-617-09-2393-6

9 786170 923936 >

ВИДАВНИЦТВО РАНОК
WWW.RANOK.COM.UA

e-RANOK Електронні книги рекомендує:



Фізика. 7 клас: зошит для контролю навчальних досягнень



Фізика. 7 клас: зошит для лабораторних робіт



Фізика. 7 клас: збірник задач

Нас цікавлять Ваші враження та побажання!

Ми у соціальних мережах:

Придбайте книжку собі до смаку саме зараз!

e-ranok.com.ua