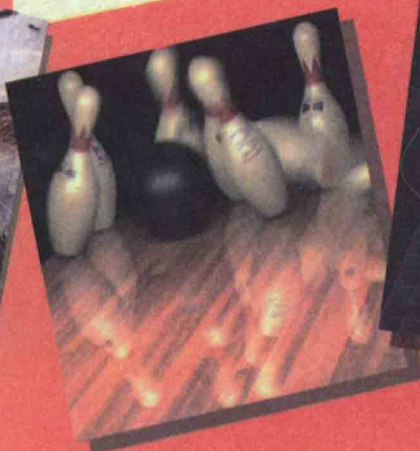


Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін,
О. О. Кірюхіна

Ф

7

ІЗИКА



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

про фізичне явище

- 1) зовнішні ознаки плинущ даного явища, умови, за яких воно відбувається;
- 2) зв'язок даного явища з іншими;
- 3) які фізичні величини його характеризують;
- 4) можливості практичного використання даного явища, способи попередження шкідливих наслідків його прояву

про прилад або пристрій

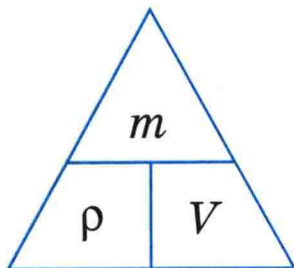
- 1) призначення;
- 2) конструкція, схема;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування і правила користування;
- 5) переваги та недоліки

про фізичний закон

- 1) формулювання закону, зв'язок між якими явищами він встановлює;
- 2) математичний вираз закону;
- 3) дослідні факти, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливість;
- 4) межі застосування закону

про фізичну величину

- 1) властивість, яку характеризує дана фізична величина;
- 2) її означення (дефініція);
- 3) формула, покладена в основу означення, зв'язок з іншими величинами;
- 4) одиниці фізичної величини;
- 5) способи її вимірювання



Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

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

маса, кг

об'єм, м^3

ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Одиниці маси

1 кілограм (1 кг)
 1 т = 1000 кг
 1 ц = 100 кг
 1 г = 0,001 кг
 1 мг = 0,000001 кг

Одиниці довжини

1 метр (1 м)
 1 км = 1000 м
 1 дм = 0,1 м
 1 см = 0,01 м
 1 мм = 0,001 м

Одиниці площі

1 метр квадратний (1 м²)
 1 км² = 1 000 000 м²
 1 дм² = 0,01 м²
 1 см² = 0,0001 м²
 1 мм² = 0,000001 м²

Одиниці об'єму

1 кубічний метр (1 м³)
 1 км³ = 1 000 000 000 м³
 1 дм³ = 0,001 м³
 1 см³ = 0,000001 м³
 1 л = 1 дм³ = 0,001 м³
 1 мл = 0,001 л = 1 см³

Одиниці густини

1 кілограм на метр
 кубічний $\left(1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$
 1 грам на сантиметр
 кубічний $\left(1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
 $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Одиниці часу

1 секунда (1 с)
 1 хв = 60 с
 1 ч = 3600 с
 1 доба = 86 400 с

Температурний
 коефіцієнт
 лінійного
 розширення, $\frac{1}{^\circ\text{C}}$

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$$

$\Delta l = l - l_0$ — зміна довжини, м

$\Delta t = t - t_0$ — зміна температури, $^\circ\text{C}$

↑
 початкова довжина тіла, м

Фокусна відстань, м

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Відстань від
 зображення
 до лінзи, м

Відстань від предмета
 до лінзи, м

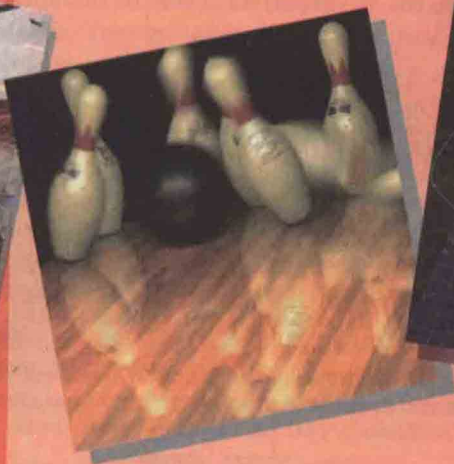
Оптична сила лінзи, дптр

$$D = \frac{1}{F}$$

Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін,
О. О. Кірюхіна

ФІЗИКА

7



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК
2007

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б76

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Лист Міністерства освіти і науки України від 28.04.07 №1/11-2195)

Рецензенти:

В. В. Сльозов, доктор фіз.-мат. наук, проф., член-кореспондент Національної академії наук України, керівник відділу НМЦ ХФТІ;
Л. М. Давидов, канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник НМЦ ХФТІ;
С. В. Каплун, канд. пед. наук, доцент, зав. кафедри методики природничо-математичної освіти ХОНМІБО;
В. А. Одариш, канд. фіз.-мат. наук, доцент КНУ ім. Т. Г. Шевченка;
О. І. Песін, канд. пед. наук, завідувач лабораторією методики викладання фізики ХНУ ім. Каразіна

Видавництво висловлює подяку лабораторії методики викладання фізики ХНУ ім. Каразіна у особі О. Ю. Свистунова за допомогу в створенні ілюстративного ряду підручника та співробітникам Академії технологічних наук України за підбірку матеріалів під рубрикою «Фізика й техніка в Україні».

Божина Ф. Я.

Б76 Фізика. 7 клас: Підручник / Ф. Я. Божина, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. — Х.: Видавництво «Ранок», 2007. — 192 с.: іл.
ISBN 978-966-672-194-8

Пропонований підручник є складовою частиною навчально-методичного комплексу «Фізика—7», що включає також методичні рекомендації для вчителя, зошит для лабораторних робіт та заліковий зошит для тематичного оцінювання.

Головна мета підручника — ввести учнів у світ фізики, сприяти формуванню базових фізичних знань та показати їх необхідність для розуміння навколишнього світу.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721

Навчальне видання

БОЖИНОВА Фаїна Яківна, **КІРЮХІН** Микола Михайлович,
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

ФІЗИКА. 7 клас

Підручник

Редактор *І. Г. Шахова*. Технічний редактор *С. Я. Захарченко*. Коректор *О. Г. Неро*

Підписано до друку 25.06.2007. Формат 70×100/16. Папір офсетний.

Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 15,56.

Тираж 185 000 прим. (1 завод 1—85 000 прим.) Зам. № 7-221.

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 279 від 13.12.2000. 61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а. Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.kharkov.ua

Віддруковано з готових позитивів

у ВАТ «Харківська книжкова фабрика ім. М. В. Фрунзе»

61057, м. Харків, вул. Донець-Захаржевського, 6/8.

© Ф. Я. Божина, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна, 2007
© С. П. Солонський, фото, 2007
© Д. В. Грицай, іл., 2007
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2007

ISBN 978-966-672-194-8

ДОРОГІ ДРУЗІ!

Цього навчального року починається ваша подорож світом нової для вас науки — фізики. Її назва походить від грецького слова *physis*, що означає «природа».

На вас чекає багато цікавого, ви будете уважно спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття.

На цьому шляху зустрінуться не тільки добре відомі з курсу природознавства поняття: «фізичне тіло» і «речовина», «атоми» та «молекули», «дифузія» й «агрегатний стан», — а й багато нових, ще не відомих вам.

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

Будьте уважними й наполегливими, вивчаючи зміст кожного параграфа. І тоді вам вдасться зрозуміти суть викладеного матеріалу і застосувати здобуті знання в повсякденному житті.

Зверніть увагу, що кожен параграф завершується рубриками: «Підбиваємо підсумки», «Контрольні запитання», «Вправи», «Експериментальні завдання». Для чого вони потрібні і як ними користуватися?

У рубриці «Підбиваємо підсумки» надано відомості про основні поняття та явища, з якими ви познайомилися. Завдяки їй ви ще раз маєте можливість звернути увагу на головне у вивченому матеріалі.

«Контрольні запитання» допоможуть з'ясувати, чи зрозуміли ви матеріал, чи щось випустили. Якщо у вас вийде відповісти на всі запитання, то все гаразд. Коли ж на деякі питання ви не знаєте відповіді, доведеться знову повернутися до тексту параграфа, і відповідь знайдеться.

Рубрика «Вправи» зробить вашу подорож у дивовижний світ фізики ще цікавішою й поповнить ваші знання. Завдання цієї рубрики під силу кожному, однак треба помізкувати й виявити кмітливість.

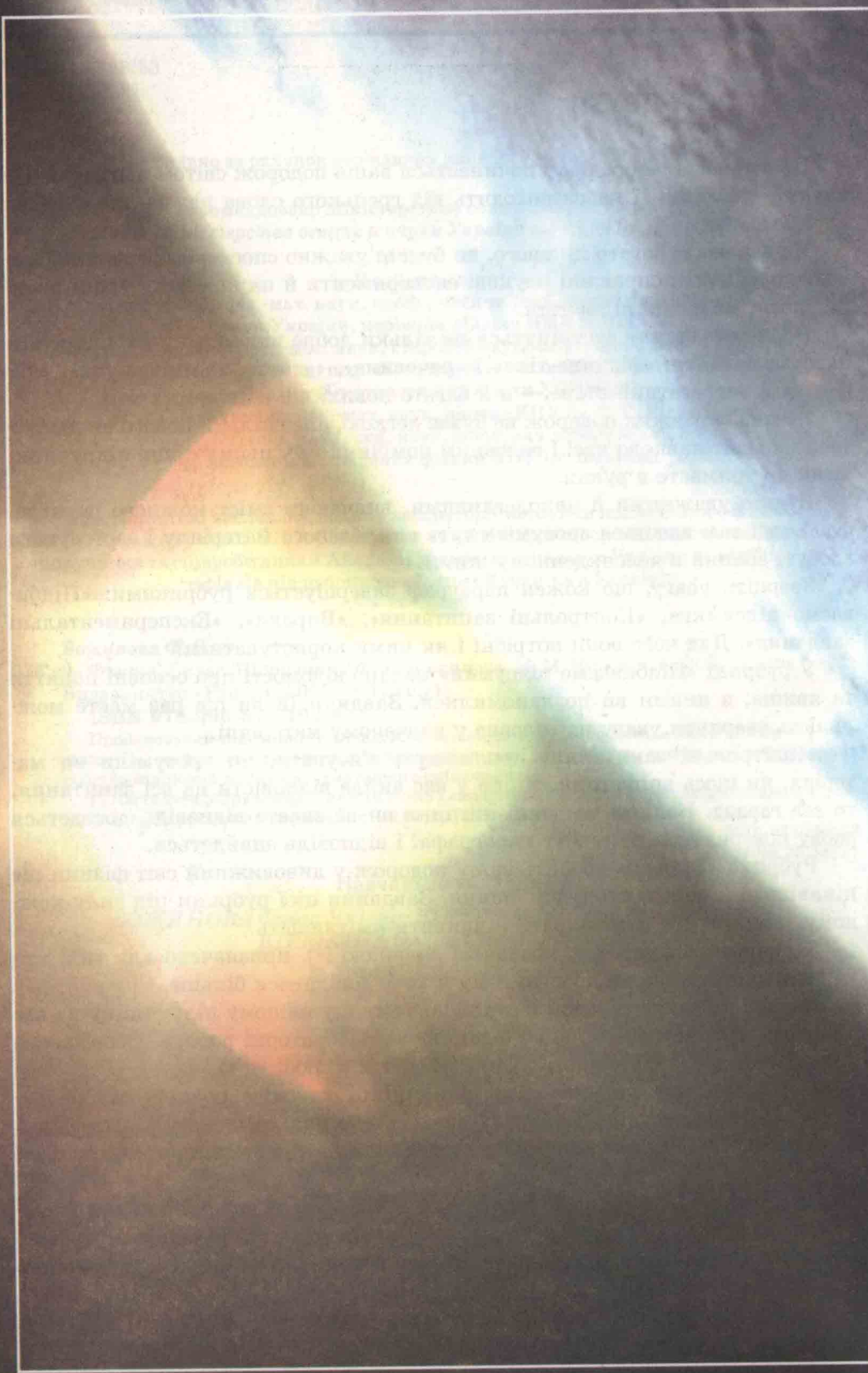
Завдання і параграфи, позначені зірочкою (*), призначено для тих, хто не зник зупинятися на досягнутому й хоче довідатися більше.

Фізика — наука експериментальна, тому й у нашому підручнику на вас очікують «Експериментальні завдання» та лабораторні роботи. Обов'язково виконайте їх — і ви почнете краще розуміти й любити фізику.

Матеріали, що запропоновані наприкінці кожного розділу під рубриками «Підбиваємо підсумки розділу» і «Тест для самоперевірки», будуть корисними вам під час повторення вивченого та підготовки до контрольної роботи.

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

Щасливої подорожі, і нехай вам у всьому щастить!



ПОЧИНАЄМО ВИВЧАТИ ФІЗИКУ

§ 1. Фізика — наука про природу. Фізичні тіла й фізичні явища	6
Лабораторна робота № 1	11
§ 2. Наукові методи вивчення природи	12
§ 3. Фізичні величини.	
Вимірювання фізичних величин	16
Лабораторна робота № 2	22
§ 4*. Кілька слів про точність вимірювань	23
§ 5. Світ, у якому ми живемо.	
Простір і час	25
Лабораторна робота № 3	30
Лабораторна робота № 4	32
Лабораторна робота № 5	34
§ 6. Взаємодія тіл	37
§ 7. Сила — міра взаємодії. Енергія	42
§ 8. Творці фізичної науки. Внесок українських учених у розвиток фізики	47

1

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

■ Ще в далеку давнину люди почали збирати інформацію про навколишній світ. Крім звичайної цікавості, це було викликано практичними потребами. Адже, наприклад, якщо знаєш, як підняти й перемістити важкі камені, то зможеш спорудити міцні стіни та побудувати дім, жити в якому зручніше, ніж у печері або землянці. А якщо навчишся виплавляти метали з руд і виготовляти плуги, коси, сокири, зброю тощо — зможеш краще зорати поле й зібрати більший урожай, а в разі небезпеки зумієш захистити свою землю.

У стародавні часи існувала тільки одна наука — вона поєднувала всі знання про природу, які збрало на той час людство. У наші дні ця наука називається **природознавством**.

1 Дізнаємося про фізичну науку

Із часом обсяг наукових знань про навколишній світ неабияк збільшився, і природознавство розділилося на окремі науки: біологію, хімію, астрономію, географію й інші (рис. 1.1). Однією з частин природознавства є фізика. Завдяки досягненням фізичної науки людство має унікальні знання про структуру й поведінку найрізноманітніших об'єктів — від гігантських зір до найдрібніших частинок речовини — атомів і молекул.

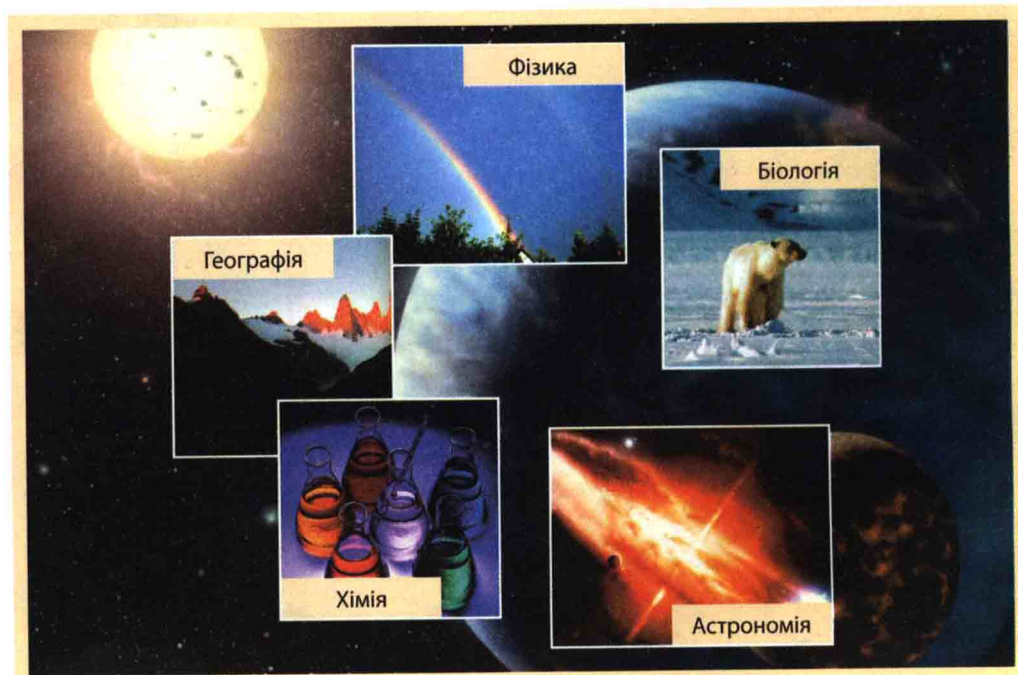


Рис. 1.1. Фізика, хімія, географія, біологія, астрономія беруть свій початок із природознавства

Ці знання стали основою для *створення нових технологій і приладів*, які допомагають у роботі лікарям і будівельникам, мандрівникам і хліборобам, полегшують наше повсякденне життя, відкривають швидкий доступ до запасів інформації, накопичених людством, тощо.

Щоб зрозуміти, як далеко ступило вперед людство, досить порівняти умови морських подорожей у далеку давнину й нині (рис. 1.2).

На відміну від давньогрецьких вітрильників, корабель XXI століття має двигун і не залежить від примх вітру. У сучасного капітана є докладна карта району плавання. Його судно обладнане *супутниковою системою GPS*, завдяки якій він завжди знає місце перебування й курс. *Сонар* — пристрій для зондування морського дна — попередить капітана про підводні скелі та рифи, а *радар* — про надводні небезпеки (айсберги, інші судна) в умовах поганої видимості. У разі аварії капітан завжди може викликати допомогу по *радіо*.

Очевидно, що із сучасним обладнанням (рис. 1.3) морські мандрівки стали набагато безпечнішими. Але ж *усі ці прилади й механізми створені завдяки знанню законів фізики*, вивчати яку ви зараз починаєте.



Рис. 1.2. Давньогрецький герой Одисей довгі роки не міг повернутися на батьківщину. При кожній новій спробі буря закидала його корабель у невідоме місце. Капітан сучасної яхти доправив би античного героя додому всього за кілька днів

2

З'ясуємо, із чого складається навколишній світ

Усе, що нас оточує, учені називають **матерією**. Почувши слово «матерія», багато хто з вас уявляє якусь тканину — наприклад, джинсову. Але для фізиків це поняття набагато ширше. Ту матерію, яку можна сприйняти за допомогою наших органів чуття (наприклад, помацати), називають **речовиною**. Речовина — це і метали, і пластики, і дерево, і повітря. Про структуру та властивості речовини ви довідаєтеся, вивчивши розділ 2 цього підручника.



Рис. 1.3. За допомогою сучасних технічних засобів людина має змогу зв'язатися з будь-якою точкою світу за лічені секунди

Певна частина простору, зайнята речовиною, називається **фізичним тілом**.

Так, фізичними тілами є будь-які предмети навколо нас: ручка, зошит, стіл, двері тощо.



Рис. 1.4. Приклади фізичних тіл

Людина, дерево, хмара, Сонце, Земля — це теж приклади фізичних тіл (рис. 1.4).

У XIX сторіччі вчені встановили, що, крім речовини, існує ще один вид матерії, який неможливо «помацати». Цей особливий вид матерії називається **полем**. За допомогою поля — *невидимих електромагнітних хвиль* — ми маємо можливість зв'язуватися зі своїми співрозмовниками по мобільному телефону, капітан корабля — з'ясовувати через супутник координати свого судна. На подібних хвилях працюють радіо й телебачення. Ще одним прикладом електромагнітного поля є *світло*. З деякими властивостями світла ви познайомитеся у ході вивчення розділу 3.

3

Згадуємо про фізичні явища

*Матерія навколо нас постійно змінюється. Деякі тіла переміщуються одне відносно одного, частина з них зіштовхуються й, можливо, руйнуються, з одних тіл утворюються інші... Перелік таких змін можна продовжувати й продовжувати — недарма ще в далеку давнину філософ Геракліт зауважив: «Усе тече, усе змінюється». Зміни в навколишньому світі, тобто в природі, учені називають спеціальним терміном — **явища**.*

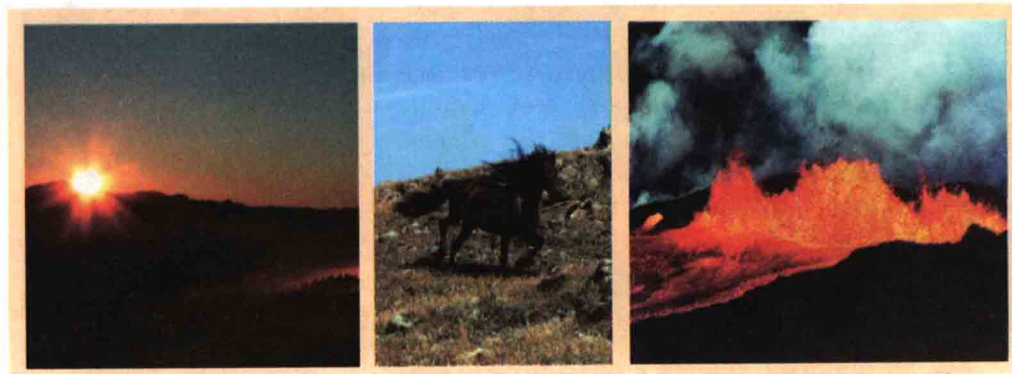


Рис. 1.5. Приклади природних явищ



Рис. 1.6. Складне природне явище — гроза — являє собою поєднання цілого ряду фізичних явищ

Схід і захід сонця, сходження снігової лавини, виверження вулкана, біг коня, стрибок пантери — усе це приклади різноманітних **природних явищ** (рис. 1.5).

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

На рис. 1.6 показано сукупність фізичних явищ, які утворюють складне природне явище — грозу. Так, блискавка — величезний електричний розряд — це *електромагнітне явище*. Якщо блискавка влучить у дерево, то воно спалахне й почне виділяти тепло — фізики в цьому випадку говорять про *теплове явище*. Гуркіт грому та потріскування охопленого вогнем дерева — *звукові явища*.

Приклади деяких фізичних явищ наведено в таблиці. Погляньте, наприклад, на перший її рядок. Що може бути спільного між польотом ракети, падінням каменя і обертанням цілої планети? Відповідь проста. Усі наведені в цьому рядку приклади явищ описуються одними й тими самими законами — *законами механічного руху*. За допомогою цих законів можна обчислити координати будь-якого тіла, що рухається (чи то камінь, чи ракета, чи планета), у будь-який момент, котрий цікавить нас.

Фізичні явища	Приклади
Механічні	Політ ракети, падіння каменя, обертання Землі навколо Сонця
Оптичні	Спалах блискавки, світіння електричної лампочки, світло від полум'я багаття
Теплові	Танення снігу, нагрівання їжі, згоряння палива в циліндрі двигуна
Звукові	Дзвін, пташиний спів, гуркіт грому
Електромагнітні	Розряд блискавки, електризація волосся, електрична дуга

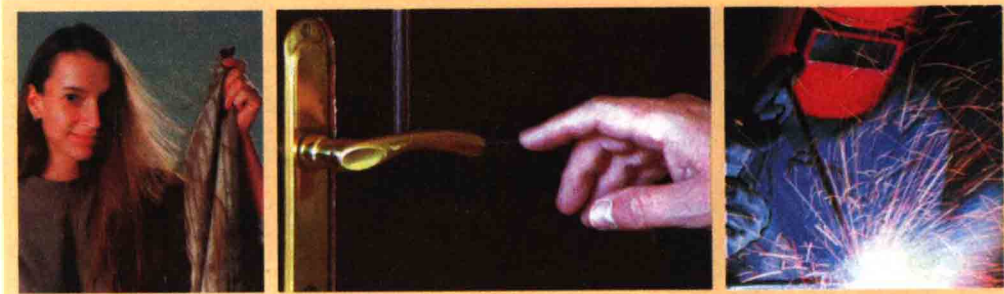


Рис. 1.7. Приклади електромагнітних явищ

Кожний із вас, знімаючи светр або розчісуючи волосся пластмасовим гребінцем, мабуть, звертав увагу, що при цьому з'являються крихітні іскри. І ці іскри, і потужний розряд блискавки однаково належать до *електромагнітних явищ* і, отже, підкоряються однаковим законам.

Тому для дослідження електромагнітних явищ не обов'язково чекати на грозу. Досить вивчити, як поведуться безпечні іскорки, щоб зрозуміти, чого чекати від блискавки і як уникнути можливої небезпеки. Уперше такі дослідження провів американський учений *Б. Франклін* (1706—1790), який винайшов ефективний засіб захисту від грозового розряду — *блискавковідвід*.

Вивчивши фізичні явища окремо, учені встановлюють їхній *взаємозв'язок*.

Так, розряд блискавки (електромагнітне явище) обов'язково супроводжується значним підвищенням температури в каналі блискавки (теплове явище). Досліджування цих явищ у їхньому взаємозв'язку дозволило не тільки краще зрозуміти природне явище — грозу, але й знайти шлях *практичного застосування* електромагнітних і теплових явищ. Напевно, кожен із вас, проходячи повз будівельний майданчик, бачив робітників у захисних масках і сліпучі спалахи електрозварювання. *Електрозварювання* (спосіб з'єднання металевих деталей за допомогою електричного розряду) — це і є приклад практичного використання наукових досліджень.

4 Визначаємо, що ж вивчає фізика

Тепер, коли ви дізналися, що собою являють матерія й фізичні явища, настав час визначити, що ж є предметом вивчення фізики. Ця наука вивчає: **структуру та властивості матерії; фізичні явища і їхній взаємозв'язок.**

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Світ навколо нас складається з матерії. Існують два види матерії: речовина, з якої складаються всі фізичні тіла, і поле.

У світі, що нас оточує, постійно відбуваються зміни. Ці зміни називаються явищами. Теплові, світлові, механічні, звукові, електромагнітні явища — усе це приклади фізичних явищ. Предмет вивчення фізики — структура та властивості матерії, фізичні явища і їхній взаємозв'язок.



Контрольні запитання

1. Що вивчає фізика?
2. Наведіть приклади фізичних явищ.
3. Чи можна вважати фізичними явищами події, які відбуваються уві сні або в уяві?
4. З яких речовин складаються такі тіла: підручник, олівець, футбольний м'яч, склянка, автомобіль?
5. Які фізичні тіла можуть складатися зі скла, металу, дерева, пластмаси?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Кабінет фізики та його обладнання. Правила безпеки під час роботи в кабінеті фізики.

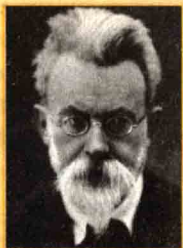
Мета: ознайомитися з обладнанням кабінету й вивчити правила безпеки під час проведення лабораторних робіт.

Обладнання: прилади та пристрої, наявні в кабінеті; інструкція з безпеки для кабінету фізики.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

1. Уважно прочитайте інструкцію з безпеки для кабінету фізики.
2. Дайте відповіді на такі запитання.
 - а) Чи почнете ви дослід, якщо не знаєте порядку його проведення й вимог безпеки?
 - б) Чи можна доторкатися до приладів, які стоять на вашому робочому столі, без дозволу вчителя?
 - в) Чи можна, почувши дзвінок з уроку, залишати робоче місце без дозволу вчителя?
 - г) Як необхідно діяти, якщо ваш однокласник травмувався під час виконання дослідів?
3. Під керівництвом учителя ознайомтеся з обладнанням кабінету фізики.
4. Сформулюйте правила поведінки учнів у кабінеті фізики.

Фізика й техніка в Україні



Перший президент Академії наук України **Володимир Іванович Вернадський** (1863—1945) був одним із останніх природознавців — ученим, який зробив вагомий внесок одразу в декілька наукових напрямів. Більше того, академік В. І. Вернадський не лише розвивав відомі наукові напрями, але й став родоначальником кількох нових наук, наприклад біогеохімії. Сьогодні багато відомих міжнародних організацій у своїх прогнозах розвитку людства базуються на концепції сталого розвитку, яка є продовженням ідей В. І. Вернадського. Суть концепції сталого розвитку полягає в такому розвитку суспільства, щоб від покоління до покоління не зменшувалися якість і безпека життя людей, не погіршувався стан навколишнього середовища та відбувався соціальний прогрес.

§ 2. НАУКОВІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ПРИРОДИ

■ Ви всі ще дуже молоді, однак у вас є певний обсяг знань. Наприклад, ви самостійно й уже досить давно встановили, що ложка, якщо її випадково впустити, обов'язково впаде вниз, а не злетить угору. Але чи впевнені ви, що все з того, що ви знаєте, є правильним? У цьому параграфі ви знайдете відповідь на питання, яким чином учені одержують нові знання.

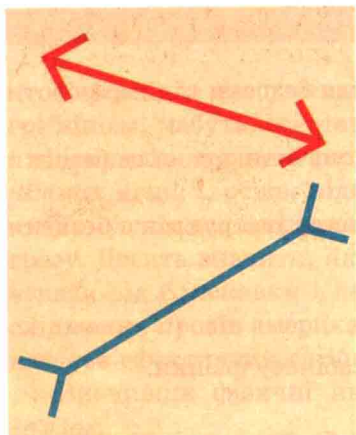


Рис. 1.8. Довжина обох відрізків однакова. В цьому легко пересвідчитися за допомогою лінійки

1

Встановлюємо відмінності між спостереженнями й експериментами

Основним завданням учених-фізиків є проведення фізичних досліджень.

Фізичне дослідження — це цілеспрямоване вивчення того чи іншого явища засобами фізики.

Першим етапом фізичного дослідження є спостереження.

Спостереження — це сприймання природи з метою одержання первинних даних для подальшого аналізу.

Якщо результати спостережень повторюються, то дослідник робить *висновки*. Наведемо приклад такого висновку: вода (рідина), поміщена в морозильну камеру, через якийсь час обов'язково перетвориться на лід (стане твердою).

Однак далеко не завжди висновки, одержані за допомогою спостережень, є правильними. Погляньте, наприклад, на відрізки на рис. 1.8. Червоний відрізок здається меншим, ніж синій. Ви можете подивитися на малюнок кілька разів, запропонувати друзям зробити те саме — і висновок залишиться незмінним. Якщо ж після цього ви виміряєте довжину відрізків лінійкою, то переконаєтеся, що їхня довжина є абсолютно однаковою.

Щоб не робити подібних хибних висновків, учені користуються складнішими видами досліджень, які називаються дослідями, або *експериментами*.

Експеримент — це дослідження фізичного явища в умовах, що перебувають під контролем ученого, з метою глибшого вивчення цього явища (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Будь-яке передбачення теорії має бути підтверджене дослідом

Досліди (експерименти) зазвичай супроводжуються різними вимірюваннями. Учені вживають вираз «*експериментальні дослідження*», коли говорять про серії дослідів, спрямованих на вивчення певного фізичного явища. Найпростіші види експериментальних досліджень — *лабораторні роботи* — ви виконуватимете самотійно, вивчаючи фізику.

2

Визначаємо основні етапи фізичних досліджень

Для того щоб перейти до експериментальних досліджень — складніших, ніж прості спостереження, — у дослідника має виникнути *сумнів в істинності результатів дослідження* («не вірю своїм очам!»).

У випадку з відрізками (див. рис. 1.8) ми підказали вам готову відповідь. Але якби ви показали цей малюнок батькам, хтось із них обов'язково поставив би під сумнів правильність першого враження: «А чи це не зорова омана? Адже відрізки можуть бути й однако-вими!» Інакше кажучи, ваш співрозмовник висловив би *гіпотезу (припущення)* про хибність простих спостережень. І тільки після вашого експериментального дослідження (вимірювання відрізків за допомогою лінійки), тобто після *експериментальної перевірки гіпотези*, ви встановили істину: обидва відрізки мають однакову довжину.

Випадок із відрізками не потребує тривалих досліджень, але інколи пошуки істини тривають століттями. Так, спостерігаючи падіння різних тіл, учені Давньої Греції зробили висновок про те, що важчі предмети падають на землю швидше, ніж легкі. Тільки через дві тисячі років, у XVI сторіччі, видатний італійський учений *Галілео Галілей* (1564—1642) за-сумнівався в правильності висновків давніх греків і висунув гіпотезу про те, що повільніше падіння легкого тіла пояснюється опором повітря (рис. 1.10). Іншими словами, якщо тіла падають із однакової висоти, не зустрічаючи опору повітря, то поверхні землі вони досягнуть одночасно незалежно від маси цих тіл. Для підтвердження своєї здогадки Галілей

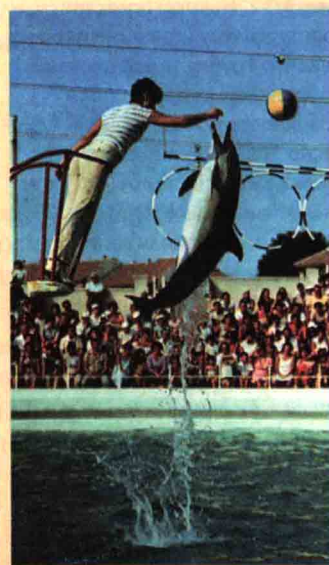


Рис. 1.10. Якби не було опору повітря, то дельфін і м'яч досягли б поверхні води одночасно



Рис. 1.11. Пізанська вежа, на якій Галілей проводив свої експерименти

Рис. 1.12. Ньютон помістив золоту монету і пташине перо у скляну трубку та розташував її вертикально, даючи тілам можливість почати падіння одночасно. Через опір повітря перо «безнадійно відстало» (а). Потім учений викачав повітря з трубки за допомогою винайдених на той час насосів (б). В останньому експерименті два тіла досягли дна трубки одночасно

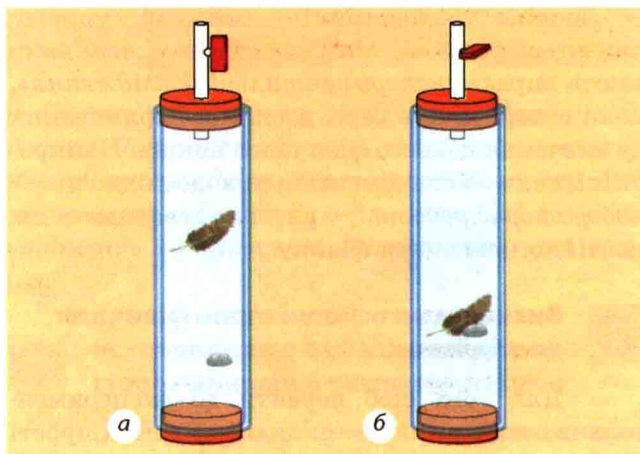


Рис. 1.13. Гігантські прискорювачі заряджених частинок застосовуються для вивчення структури матерії



Рис. 1.14. Етапи пізнання у фізичних дослідженнях

провів дослідження, використавши для цього славнозвісну Пізанську вежу (див. рис. 1.11). З вершини цієї споруди він кидав предмети (мушкетну кулю й гарматне ядро), на рух яких, як ми сьогодні знаємо, опір повітря впливає незначно. Результати експериментів підтвердили гіпотезу вченого — обидва предмети досягали землі практично одночасно.

Більш точні експерименти (рис. 1.12) провів славний англійський учений *Ісаак Ньютон* (1643—1727). Але Ньютон не обмежився підтвердженням висновків Галілея. Проаналізувавши одержані дані й зробивши необхідні обчислення (зараз таку роботу ми називаємо **теоретичними дослідженнями**), учений припустив, що падіння предметів на поверхню землі і обертання планет Сонячної системи навколо Сонця підкоряються єдиному закону. Щоб обґрунтувати це твердження, Ньютон знову звернувся до математики. У результаті вчений відкрив закон всесвітнього тяжіння — створив **нове знання**.

Після Галілея та Ньютонів основними способами здобування нових знань стали **теоретичні й експериментальні методи**. Сучасні експериментальні дослідження неможливо уявити без спеціально сконструйованих складних приладів. Деякі з них мають масу в десятки тисяч тонн і розміри в декілька кілометрів (рис. 1.13). У розроблянні нових теорій беруть участь сотні вчених, для

теоретичних розрахунків застосовують надпотужні комп'ютери. Однак навіть у наші дні основні етапи здобування нових знань залишаються незмінними.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Основними методами фізичних досліджень є теоретичний та експериментальний. Послідовність етапів фізичних досліджень можна уявити у вигляді спіралі, що складається з повторюваних елементів (рис. 1.14). Спробуймо зробити сходження цієї спіраллю. Нижній елемент показує, що на певному етапі вчені вже мають певний рівень знань (знання). За допомогою спостережень і роздумів дослідники переконуються в необхідності його вдосконалення, проводять теоретичні дослідження, висувують гіпотезу й підтверджують (або спростовують) її шляхом експериментальної перевірки. Результатом стає нове знання.



Контрольні запитання

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



Вправи

1. Яку роль відіграють експериментальні й теоретичні дослідження для встановлення фізичних законів?
2. У науці важливо розрізняти такі поняття:
 - а) явище, яке спостерігається повсякденно;
 - б) експериментальний факт;
 - в) гіпотезу;
 - г) закон природи.

Укажіть, до якого з вищеназваних понять належать подані нижче твердження:

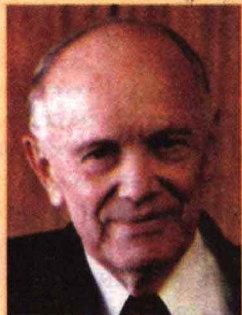
- а) усі тіла падають на землю;
- б) імовірно, різниця у швидкості падіння тіл різної маси пояснюється опором повітря;
- в) у вакуумі всі тіла падають з однакової висоти за той самий час.



Експериментальне завдання

Поспостерігайте яке-небудь фізичне явище, опишіть його й проаналізуйте.

Фізика й техніка в Україні



Учений зі світовим ім'ям — **Борис Євгенович Патон** — народився 1918 року в Києві. Славу йому принесли дослідження в галузі електродугового зварювання та створення зварювальних автоматів, які використовуються в різних галузях промисловості й будівництва. Талант науковця сягнув розквіту в період роботи в Інституті електрозварювання, директором якого він став у 1953 році. Із цього часу Б. Є. Патон очолював дослідження, у результаті яких сформувався зовсім новий напрям у сучасній металургії, що здобув визнання в усьому світі. Електрошлаковий процес, створений під керівництвом ученого, застосовується для підвищення якості іржостійких та інших спеціальних сталей.

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

§ 3. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ. ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

■ *Що таке фізична величина? Що означає виміряти фізичну величину? Що називають одиницею фізичної величини? Тут ви знайдете відповіді на ці дуже важливі питання.*

1 Дізнаємося, що називається фізичною величиною

Здавня люди для точнішого опису яких-небудь подій, явищ, властивостей тіл і речовин використовують їхні характеристики. Наприклад, порівнюючи тіла, які нас оточують, ми говоримо, що книжка є меншою, ніж книжкова шафа, а кінь більший від кота. Це означає, що об'єм коня більший від об'єму кота, а об'єм книжки менший, ніж об'єм шафи.

Об'єм — приклад **фізичної величини**, що характеризує загальну властивість тіл займати ту чи іншу частину простору (рис. 1.15, а). При цьому числове значення об'єму кожного з тіл є індивідуальним.

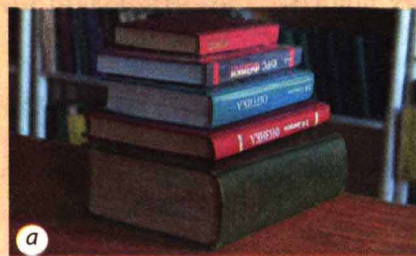


Рис. 1.15. Для характеристики властивості тіл займати ту чи іншу частину простору ми використовуємо фізичну величину об'єм (а), для характеристики руху — швидкість (б, в)

Загальна характеристика багатьох матеріальних об'єктів або явищ, яка може набувати індивідуального значення для кожного з них, називається **фізичною величиною**.

Ще одним прикладом фізичної величини може слугувати відоме вам поняття «швидкість». Усі тіла, що рухаються, змінюють своє розташування в просторі з часом, однак швидкість цієї зміни для різних тіл є різною (рис. 1.15, б, в). Так, літак за 1 с руху встигає змінити своє розташування в просторі на 250 м, автомобіль — на 25 м, людина — на 1 м, а черепаха — усього на кілька сантиметрів. Тому фізики й кажуть, що швидкість — це фізична величина, яка характеризує перебіг руху. Неважко здогадатися, що об'єм і швидкість — це далеко не всі фізичні величини, якими оперує фізика. Маса, густина, сила, температура, тиск, напруга, освітленість — це лише мала частина тих фізичних величин, із якими ви познайомитеся, вивчаючи фізику.

2 З'ясуємо, що означає виміряти фізичну величину

Для того щоб кількісно описати властивості якого-небудь матеріального об'єкта або фізичного явища, необхідно встановити **значення фізичної величини**, що характеризує цей об'єкт або явище.

Значення фізичних величин одержують шляхом вимірювань (рис. 1.16—1.19) чи обчислень.



Рис. 1.16. «До відправлення потяга залишилося 5 хвилин», — із хвилюванням вимірюєте ви час



Рис. 1.17. «Я купила кілограм яблук», — розповідає мама про свої вимірювання маси

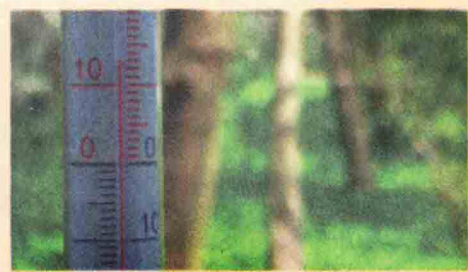


Рис. 1.18. «Вдягайся тепліше, сьогодні на вулиці прохолодніше», — дбає про вас бабуся після вимірювання температури на вулиці



Рис. 1.19. «У мене знову підвищився тиск», — скаржиться жінка після вимірювання кров'яного тиску

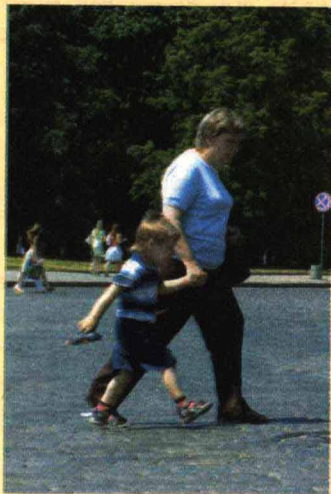


Рис. 1.20. Коли бабуся й онук вимірюватимуть відстань у кроках, то вони завжди отримуватимуть різні результати

метр

секунда

кілограм

ампер

моль

кандела

кельвін

Рис. 1.21. Основні одиниці Міжнародної системи СІ

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

Наведемо приклад із художньої літератури: «Пройшовши кроків триста берегом річки, маленький загін ступив під склепіння дрімучого лісу, звивистими стежками якого їм треба було мандрувати протягом десяти днів» (Ж. Верн. «П'ятнадцятирічний капітан»).

Герої роману Ж. Верна вимірювали пройдений шлях, порівнюючи його з кроком, тобто одиницею виміру був крок. Таких кроків виявилось триста. У результаті вимірювання одержано числове значення (триста) фізичної величини (шляху) в обраних одиницях (кроках).

Очевидно, що вибір такої одиниці не дозволяє порівнювати результати вимірювань, одержані різними людьми, оскільки довжина кроку в усіх є різною (рис. 1.20). Тому заради зручності й точності люди давно почали домовлятися про те, щоб вимірювати ту саму фізичну величину однаковими одиницями. Нині в більшості країн світу діє прийнята 1960 року *Міжнародна система одиниць*, що зветься «Система Інтернаціональна» (СІ) (рис. 1.21).

У цій системі одиницею довжини є метр (м), часу — секунда (с); об'єм вимірюється в метрах кубічних (м³), а швидкість — у метрах за секунду (м/с). Про інші одиниці СІ ви дізнаєтеся пізніше.

3

Згадуємо кратні й частинні одиниці

З курсу математики ви знаєте, що для скорочення запису великих і малих значень різних величин користуються кратними й частинними одиницями.

Кратні одиниці — це одиниці, більші від основних одиниць у 10, 100, 1000 й більше разів.

Частинні одиниці — це одиниці, менші від основних у 10, 100, 1000 й більше разів.

Для записування кратних і частинних одиниць використовують *префікси*. Наприклад, одиниці довжини, кратні одному метру, — це кілометр (1000 м), декаметр (10 м). Одиниці

довжини, частинні одному метру, — це *дециметр* (0,1 м), *сантиметр* (0,01 м), *мікрометр* (0,000001 м) і так далі.

У таблиці наведено найчастіше вживані префікси.

Префікси, що слугують для утворення 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
дека	десять	да	10	10^1
санти	сто	с	0,01	10^{-2}
мілі	тисяча	м	0,001	10^{-3}
мікро	малий	мк	0,000001	10^{-6}
нано	карлик	н	0,000000001	10^{-9}

4 Знайомимося з вимірювальними приладами

Учені вимірюють фізичні величини за допомогою вимірювальних приладів. Найпростіші з них — лінійка, рулетка, мірна стрічка — слугують для вимірювання відстані й лінійних розмірів тіла. Вам також добре відомі такі вимірювальні прилади, як годинник — прилад для вимірювання часу, транспортир — прилад для вимірювання кутів на площині, термометр — прилад для вимірювання температури — та деякі інші (див. рис. 1.22). Знайомство з багатьма вимірювальними приладами у вас іще попереду.

Більша частина вимірювальних приладів має шкалу, що забезпечує можливість вимірювання. Також на приладі зазначають одиниці, у яких виражається вимірювана цим приладом величина*.

За шкалою можна встановити дві найважливіші характеристики приладу: *межі вимірювання* й *ціну поділки*.

Межі вимірювання — це найбільше і найменше значення фізичної величини, які можна виміряти певним приладом.

* У наші дні широко використовуються електронні вимірювальні прилади, у яких значення вимірюваних величин висвітлюється на екрані у вигляді цифр. Межі вимірювання та одиниці визначаються за паспортом приладу або встановлюються спеціальним перемикачем на панелі приладу.

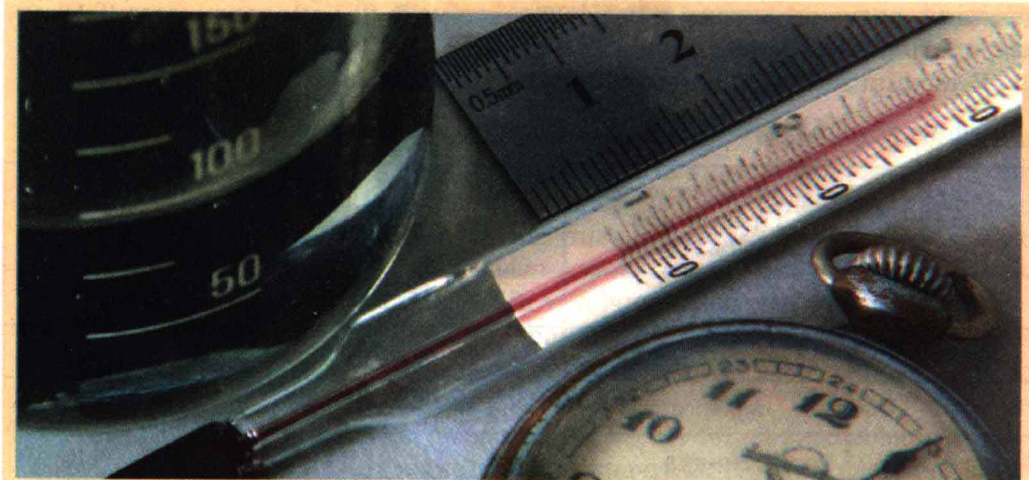


Рис. 1.22. Вимірювальні прилади

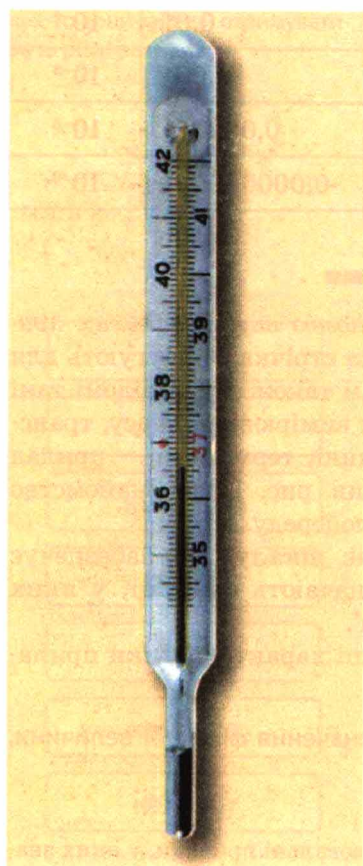


Рис. 1.23. Медичний термометр

Ціна поділки — це значення найменшої поділки шкали вимірювального приладу.

Наприклад, верхня межа вимірювань медичного термометра (рис. 1.23) дорівнює 42°C , нижня 34°C , а ціна поділки шкали цього термометра становить $0,1^{\circ}\text{C}$.

Нагадуємо: щоб визначити ціну поділки шкали будь-якого приладу, необхідно різницю двох будь-яких значень величин, наведених на шкалі, поділити на кількість поділок між ними.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Загальна характеристика матеріальних об'єктів або явищ, яка може набувати індивідуального значення для кожного з них, називається фізичною величиною.

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

У результаті вимірювань ми одержуємо значення фізичних величин.

Говорячи про значення фізичної величини, слід назвати її числове значення й одиницю.

Для вимірювання фізичних величин користуються вимірювальними приладами.

Для скорочення запису числових значень різних великих і малих фізичних величин використовують кратні й частинні одиниці. Вони утворюються за допомогою префіксів.



Контрольні запитання

1. Дайте визначення фізичної величини.
2. Що означає виміряти фізичну величину?
3. Що таке значення фізичної величини?
4. Назвіть усі фізичні величини, згадані в уривку з роману Ж. Верна, наведеному в тексті параграфа. Яким є їхнє числове значення? одиниці виміру?
5. Які префікси належать до частинних? кратних?
6. Які характеристики приладу можна визначити за допомогою шкали?
7. Що називають ціною поділки?



Вправи

1. Назвіть відомі вам фізичні величини. Зазначте одиниці цих величин. Якими приладами їх вимірюють?
2. На рис. 1.22 зображено деякі вимірювальні прилади. Чи можна, використовуючи тільки рисунок, визначити ціну поділки шкал цих приладів. Обґрунтуйте свою відповідь.
3. Подайте в метрах такі значення фізичної величини: 145 мм; 1,5 км; 2 км 32 м.
4. Запишіть за допомогою кратних або частинних одиниць такі значення фізичних величин: 0,0000075 м — діаметр червоних кров'яних тілець; 5 900 000 000 000 м — радіус орбіти планети Плутон; 6 400 000 м — радіус планети Земля.
5. Визначте межі вимірювання й ціну поділки шкал приладів, які є у вас удома.
6. Згадайте визначення фізичної величини й доведіть, що довжина — це фізична величина.

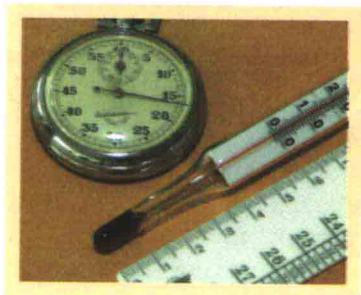
Фізика й техніка в Україні



Один із видатних фізиків сучасності — **Лев Давидович Ландау** (1908—1968) — продемонстрував свої неабиякі здібності, ще навчаючись у середній школі. Після закінчення університету він стажувався в одного з творців квантової фізики Нільса Бора. Уже у 25-річному віці він очолив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту та кафедру теоретичної фізики Харківського університету.

Як і більшість видатних фізиків-теоретиків, Ландау вирізнявся надзвичайною широтою наукових інтересів. Ядерна фізика, фізика плазми, теорія надплинності рідкого гелію, теорія надпровідності — до всіх цих розділів фізики Ландау зробив значний внесок. За роботи з фізики низьких температур він отримав Нобелівську премію.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2



Тема. Визначення ціни поділки шкали вимірювального приладу.

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

Обладнання: лінійка, термометр та інші вимірювальні прилади.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

1. Переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
 - а) Що називають вимірювальним приладом?
 - б) Як визначити межі вимірювання шкали приладу?
 - в) Що таке ціна поділки шкали?
 - г) Як визначити ціну поділки шкали?
 - д) Якого правила техніки безпеки слід дотримуватися, працюючи з термометром?
2. Розгляньте шкали наявних у вас вимірювальних приладів.
3. Заповніть таблицю.

Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця вимірюваної величини	Блок позначок шкали		
			Значення найближчих оцифрованих позначок	Кількість поділок між найближчими оцифрованими позначками	Ціна поділки шкали

Аналіз результатів роботи

Зробіть висновок, у якому вкажіть, що саме ви визначали й для чого можуть знадобитися навички, набуті вами в ході виконання роботи.

Додаткове завдання

Виготовте мірну стрічку з ціною поділки 5 мм.

§ 4*. КІЛЬКА СЛІВ ПРО ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ

■ Тепер ви знаєте, що означає виміряти фізичну величину. І в повсякденному житті ви вже виконували багато найпростіших вимірювань. Але наскільки точними були ваші вимірювання? Чи можна одержати абсолютно точне значення фізичної величини?

Спробуємо з'ясувати ці непрості питання.

1 Оцінюємо розміри та перевіряємо результат

Почнемо з перевірки вашого окоміру.

Оцініть на око довжину голки, зображеної на рис. 1.24. А тепер перевіримо, наскільки ваша оцінка відповідає дійсності, тобто виміряємо довжину тієї голки за допомогою лінійки. Для цього:

— прикладемо лінійку до голки так, щоб нуль на її шкалі збігся з одним кінцем голки (рис. 1.25);

— визначимо значення поділки шкали, навпроти якої розташований її другий кінець.

Ми бачимо, що він розташований біля позначки 5 см. Звідси робимо висновок, що довжина голки близько 5 см. Якщо ваша попередня оцінка збігається з цим значенням, то ви маєте добрий окомір. Визначити на око розмір більш точно нам не вдасться.

2 Уточнюємо результат вимірювань

Якщо нам потрібен точніший результат, треба звернути увагу на те, що кінець голки трохи більш ніж на два міліметри виступає за позначку 5 см. Отже, точніша довжина голки — 5,2 см, або 52 мм.

Ви можете заперечити, що це значення теж не є точним.

Так, не є! Саме тому прийнято завжди зазначати точність, із якою виконано вимірювання.



Рис. 1.24. Фотографія голки в натуральну величину

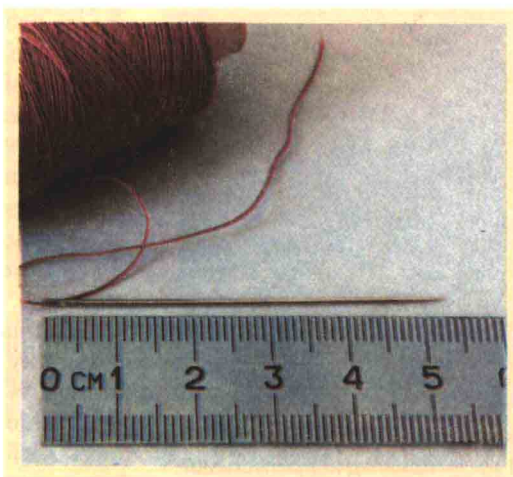


Рис. 1.25. Вимірювання довжини голки



Рис. 1.26. Вимірювання довжини стіни з точністю до 1 мм — приклад надлишкової точності

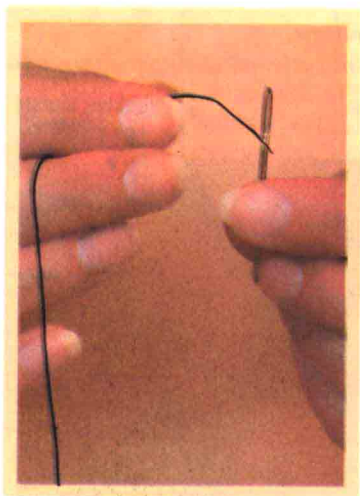


Рис. 1.27. Намагання втягнути нитку у вушко голки з точністю до 1 мм — приклад неприпустимої похибки

У першому випадку наше вимірювання викона- не з точністю до 1 см, а в другому — з точністю до 0,1 см.

Щоб зробити ще точніше вимірювання, необ- хідно врахувати довжину тієї частини голки, яка виступає за позначку 52 мм, і тоді точність підви- щиться до 0,01 см. Для цього мусимо використа- ти вимірювальний прилад зі ще меншою ціною поділки, тобто більш точний, але навіть тоді ми не можемо стверджувати, що виміряли голку зовсім точно.

Причин для цього чимало: це і недосконалість конструкції приладу, і похибки, які виникають у ході проведення досліду (наприклад, початок гол- ки неможливо абсолютно точно сумістити з нулем лінійки).

Таким чином, навіть якщо вимірювання прово- диться ретельніше й за допомогою більш доскона- лого приладу, точність зростає, але похибок одна- ково не уникнути.

Щоб зменшити похибку, вимірювання можна виконати кілька разів, а потім обчислити середнє значення всіх одержаних результатів (знайти їх середнє арифметичне).



Міркуємо про точність вимірювань

Однак не слід думати, що чим точнішим є вимірювання, тим краще: зайва точність не завж- ди доцільна.

Припустимо, що замість довжини голки вам необхідно виміряти довжину кришки столу. У цьо- му випадку немає необхідності враховувати десяті й соті частки міліметра, оскільки, вимірюючи дов- жину столу в різних місцях, ми одержимо величи- ни, що відрізняються на кілька міліметрів. Тому частки міліметра в цьому випадку можна знехту- вати.

Також нема сенсу вимірювати довжину стіни з точністю до одного міліметра (рис. 1.26).

Із цього можна зробити висновок, що *необхід- ну точність вимірювання визначає мета експери- менту.*

Найчастіше важливим є не значення похибки, а те, яку частину від усієї вимірюваної величини становить можлива похибка.

Якщо кравець, викроюючи штани, помилиться на 1 мм, ви цього навіть не помітите. А от якщо, просиляючи нитку у вушко голки, він щоразу по- милятиметься на 1 мм (рис. 1.27), то навряд чи штани взагалі коли-небудь буде пошито.

§ 5. СВІТ, У ЯКОМУ МИ ЖИВЕМО. ПРОСТІР І ЧАС

■ Вивчаючи природу, дослідники поділили всі об'єкти фізичного світу на мікро-, макро- і мегасвіт. Вам уже знайомі ці префікси, і ви можете припустити, чим відрізняються ці три поняття. Однак не варто поспішати з відповіддю! Вона не така проста, як може здатися на перший погляд.

1 Характеризуємо структурні рівні фізичного світу

Уся доступна для спостереження частина матеріального світу, що нас оточує, називається **Всесвітом**.

Дрібними об'єктами Всесвіту є мікрочастинки — молекули, атоми та їхні складові. Світ молекул, атомів та їхніх складових називають **мікросвітом** (рис. 1.29).

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

Атоми або молекули можуть поєднуватись у великі скупчення — макроскопічні тіла. Прикладами макроскопічних тіл є насамперед сама людина, а також усі фізичні тіла навколо неї (дерево, будинок, шафа, стіл, книжка тощо).

Земля й інші планети є макроскопічними тілами астрономічного масштабу. Світ планет і фізичних тіл, які оточують людину, а також сама людина становлять **макросвіт** (рис. 1.30). У макросвіті панує **класична фізика**. На основі законів класичної фізики людство створило гігантські споруди,



Рис. 1.28. Діапазон розмірів у Всесвіті

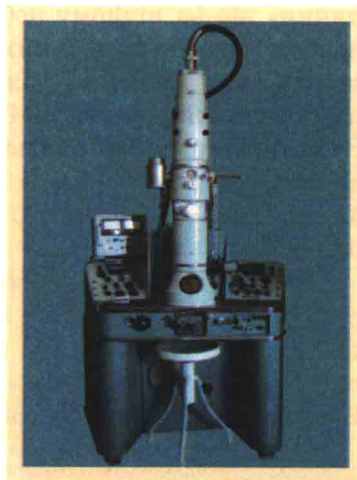


Рис. 1.29. Об'єкти мікросвіту вивчають за допомогою спеціальних приладів — електронних мікроскопів

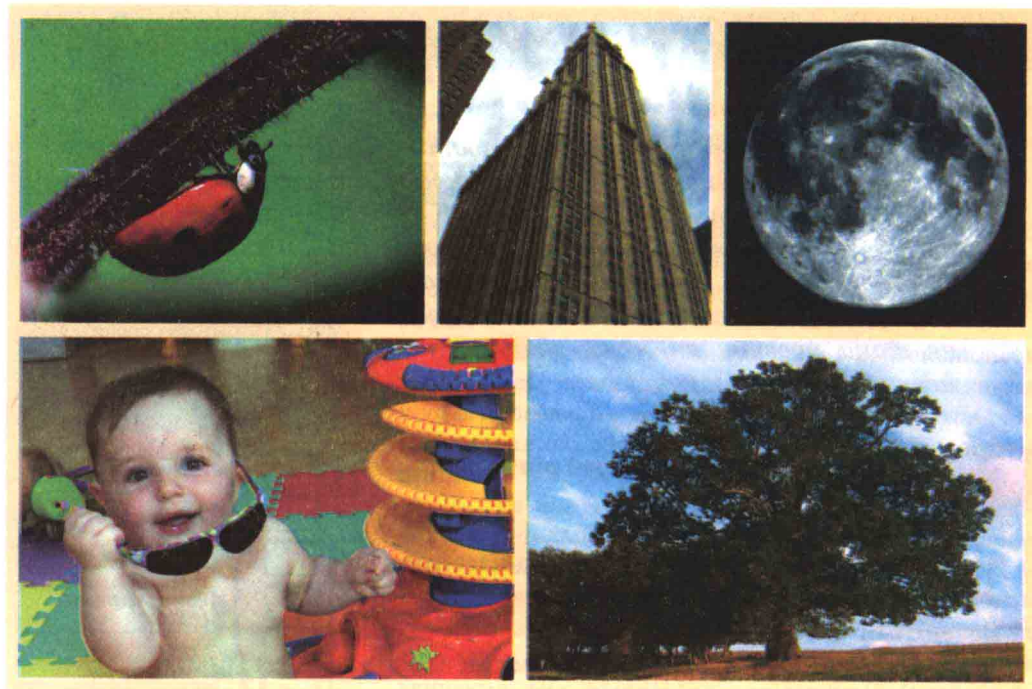


Рис. 1.30. Об'єкти макросвіту

гідро- й теплові електростанції, верстати й технічні пристрої, сучасні засоби пересування: потяги, автомобілі, літаки, ракети.

Однак макросвіт — усього лише «піщинка» у Всесвіті. Крихітні «світлячки» зір на нічному небі насправді являють собою гігантські кулі розпеченого газу, розміри яких здебільшого набагато перевищують розміри нашого Сонця. Відстані між розкиданими у Всесвіті зорями величезні: щоб дістатися найближчої до Сонця зорі, рухаючись зі швидкістю пасажирського потяга, потрібно близько 30 млн років. Зміни в цьому світі відбуваються настільки повільно, що час людського життя здається короткою миттю. Так, наше Сонце виникло близько 5000 млн років тому й світитиме ще приблизно 8000 млн років.

Відстані тут вимірюються в мільйонах кілометрів, час — у мільйонах років... Пам'ятаєте, який із кратних префіксів означає «мільйон»? Правильно — «мега». Тому вчені й називають *світ зір, зоряних скупчень — галактик — та інших гігантських космічних об'єктів мегасвітом* (рис. 1.31). Будову й еволюцію мегасвіту вивчає спеціальна наука — *космологія*.

2

Розрізняємо послідовність подій і тривалість події

Простір і час є своєрідною ареною, на якій «розігруються» всі явища та процеси, що відбуваються у світі. Щоб дати повний опис якоїсь події, ми обов'язково повинні вказати не тільки *де*, але й *коли* ця подія відбулася.

Наприклад, спостерігаючи змагання легкоатлетів (рис. 1.32), ми завжди фіксуємо (хоч часто й не замислюємося про це) момент часу й перебування спортсмена в просторі. В іншому разі визначити переможця було б неможливо.

При цьому ми добре розуміємо, що спортсмен, який першим перетнув фінішну лінію, зробив це до того, як фінішували решта учасників забігу. Тобто йдеться про **послідовність подій**, коли одна з них відбувається раніше, ніж інші.

Однак навіть з'ясувавши, хто став переможцем в окремому забігу, ми не будемо знати переможця в змаганнях, якщо не виміряємо відрізок часу з моменту старту спортсмена до його фінішу, щоб порівняти з результатами інших учасників. Тобто, як кажуть фізики, необхідно встановити **тривалість події**.

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

Таким чином, для того щоб визначити і тривалість однієї події, і послідовність усіх подій, ми вимірюємо проміжок часу. Розбіжність полягає у виборі початкових моментів, від яких ведеться відлік часу. Визначаючи тривалість певної події, за початковий момент ми беремо момент початку самої події. Коли визначаємо послідовність подій, початковий момент пов'язуємо з початком однієї спільної для всіх подій.

Наприклад, осінні канікули (подія) почались 25 жовтня і тривали 8 днів. У цьому випадку проміжок часу 8 днів означає тривалість події. За початок відліку часу беремо початок самих канікул.

Дата 25 жовтня вказує на послідовність подій, а за початок відліку часу беремо початок календарного року.

3

Знайомимося з одиницями часу

Як виміряти час? Відповідь на це питання підказала людям сама природа. Річ у тім, що багато процесів, які відбуваються в природі, є періодичними.



Рис. 1.31. Наша галактика — Молочний, або Чумацький Шлях — одна з мільярдів галактик у Всесвіті



Рис. 1.32. Студентські змагання з легкої атлетики

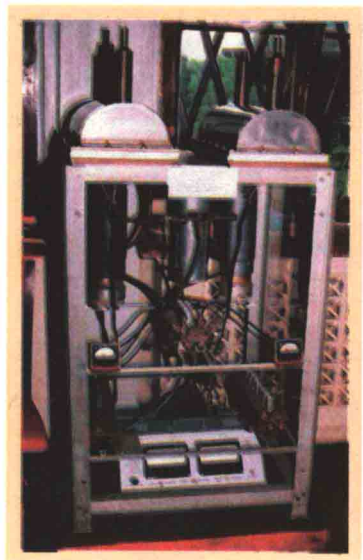


Рис. 1.33. Перший атомний годинник — еталон часу



Рис. 1.34. Різні види приладів для вимірювання часу

Періодичним називають такий процес, який послідовно повторюється через рівні проміжки часу.

Тривалість одного такого процесу може слугувати одиницею часу. Наприклад, обертання Землі навколо своєї осі — періодичний процес. Тому ще з найдавніших часів одиницею часу є доба — тривалість одного повного оберту Землі навколо своєї осі. Потім добу поділили на рівні частини, одержавши такі одиниці часу, як година (год), хвилина (хв), секунда (с). Година — це $1/24$ частина доби, хвилина — $1/60$ частина години, а секунда — $1/60$ частина хвилини.

Встановлюючи ці одиниці, люди вважали, що тривалість повного оберту Землі навколо її осі є завжди однаковою. Однак вимірювання, проведені вченими за допомогою сучасних приладів, показали, що це не зовсім так. Зате періодичні процеси в мікросвіті виявилися стабільнішими. Тому для більшої точності вимірювання часу створено еталон*, що базується на періодичних процесах усередині атома (рис. 1.33). За допомогою атомного еталона відтворюють *одиницю часу* в СІ — секунду.

Найпоширенішим приладом для вимірювання часу є *годинник*. Годинники можуть відрізнятися і конструкцією, і точністю вимірювань (рис. 1.34), однак їхня дія завжди ґрунтується на одному з періодичних процесів.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Уся доступна для спостереження частина матеріального світу називається Всесвітом.

Усі об'єкти у Всесвіті поділяються на мікро-, макро- і мегасвіт:

- мікросвітом називають світ атомів і дрібних частинок, із яких вони складаються;
- до макросвіту належить світ планет і фізичних тіл, які оточують людину, а також сама людина;

* Еталон — це тіло або пристрій для зберігання й відтворення одиниці фізичної величини.

— мегасвітом називають світ зір, зоряних скупчень — галактик, а також інших подібних об'єктів.

Світ, який нас оточує, існує в просторі й у часі.

Вимірювання часу викликане необхідністю одержати відповідь на два питання: «Як довго певна подія відбувалась?» і «Коли ця подія відбувалась?». Відповідь на ці питання дозволяє визначити тривалість і послідовність подій.

За одиницю часу беруть тривалість того чи іншого періодичного процесу. У СІ одиницею часу є секунда.



Контрольні запитання

1. Які об'єкти у Всесвіті належать до мегасвіту, макросвіту та мікросвіту?
2. Чим відрізняються поняття «тривалість подій» і «послідовність подій»?
3. Який процес називають періодичним?
4. Наведіть приклади процесів, тривалість яких могла б бути одиницею часу.
5. Які одиниці часу ви знаєте?



Вправи

1. Проміжок часу між двома повнями становить 29,5 доби. Подайте його значення в інших одиницях (годинах, хвилинах, секундах).
2. На розв'язання завдання з фізики Дмитрик витратив 0,15 години, а його друг Денис — 540 секунд. Хто з хлопців швидше впорався із завданням?
3. У результаті систематичних спостережень учені встановили, що, долаючи Північне та Середземне моря, птахи можуть летіти без зупинки 660 хв 10 800 с. Скільки годин триватиме безпосадковий переліт птахів?

Фізика й техніка в Україні



Національний науковий центр «Інститут метрології» (Харків)

Метрологія — це наука про різноманітні вимірювання: як їх робити, за допомогою яких приладів, як досягти відповідної точності. Без метрології сьогодні неможливе проведення наукових досліджень, узагалі науковий прогрес.

Матеріальною базою всіх сучасних вимірювань є відповідні еталони, які має кожна розвинена держава.

Більша частина українських державних еталонів (близько 40 одиниць) створена і зберігається в Національному науковому центрі «Інститут метрології» в Харкові. Зокрема, це еталони довжини, маси, температури, часу (див. рисунок), рівня радіації та інші. Пригадайте, що радіостанції транслюють сигнал «Перевірте ваші годинники». Точність цього сигналу перевіряють саме в Інституті метрології.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3



Тема. Вимірювання часу.

Мета: ознайомитись із принципом роботи метронома, секундоміра; навчитися вимірювати проміжки часу за допомогою різних фізичних приладів.

Обладнання: метроном, секундомір, годинник із секундною стрілкою, скляна трубка завдовжки 25—30 см і діаметром 7—8 мм, пластикін.

Теоретичні відомості

Метроном (рис. 1) (від грецьких слів *metron* — міра і *nomos* — закон) — прилад для відлічування відрізків часу на слух. Застосовується для дотримування точного темпу під час виконання музичних творів, а також у лабораторних дослідах. Метроном складається з корпусу пірамідальної форми зі шкалою (1), пружинного годинникового механізму й маятника (2) з рухливим тягарем (3).

Коливання маятника метронома супроводжуються рівномірним постукуванням. Кількість коливань маятника за одиницю часу залежить від місця розташування тягаря. Щоб домогтися необхідної кількості ударів за хвилину, тягар фіксують навпроти відповідної цифри на шкалі.

Механічний секундомір (рис. 2) — прилад для вимірювання проміжків часу тривалістю від часток секунди до часток години. Секундомір складається з годинникового механізму й механізму керування стрілками — секундною (1) та хвилинною (2), за допомогою якого здійснюються пуск, зупинка приладу й повернення стрілок у нульове положення.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

1. Налаштуйте метроном на 120 ударів за хвилину.

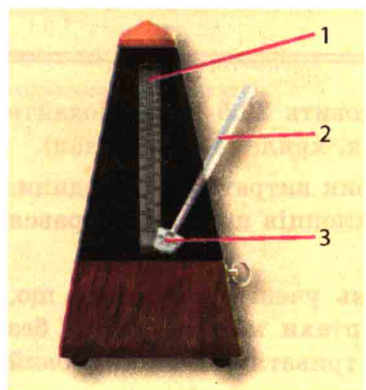


Рис. 1

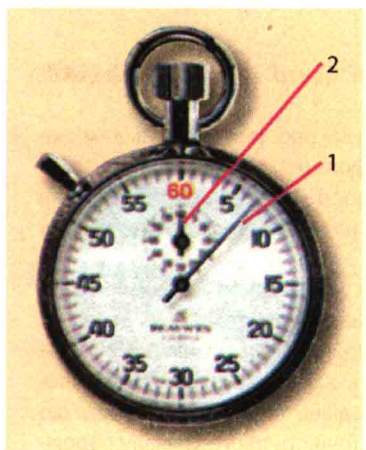


Рис. 2

- Визначте ціну поділки годинника й секундоміра. Результати вимірювань занесіть до таблиці. (Ціна поділки метронома, налаштованого на 120 ударів за хвилину, становить $60 \text{ с} : 120 = 0,5 \text{ с}$.)
- Закрийте один кінець скляної трубки пластиліном. Наповніть її водою так, щоб у трубці залишилося трохи повітря. Закрийте пластиліном другий кінець трубки й покладіть її на стіл. Легенько постукавши по трубці, зробіть так, щоб повітряна бульбашка відокремилася від пластиліну. Потім підніміть один кінець трубки й покладіть його на тонкий зошит. Бульбашка почне повільно переміщуватися вгору доти, доки сягне проти-лежного кінця трубки. Щоб повернути бульбашку у вихідне положення, підніміть кінець трубки, що лежить на столі.

Експеримент

- Перевірте своє «відчуття часу». Для цього, не користуючись вимірювальними приладами, оцініть час, протягом якого повітряна бульбашка переміщується від кінця трубки, що лежить на столі, до кінця трубки, який лежить на зошиті.
- Виміряйте час руху бульбашки за допомогою:
 - годинника; б) метронома; в) секундоміра.
 Кожний дослід повторіть тричі. Результати всіх вимірювань відразу ж занесіть до таблиці.
- Завершіть заповнення таблиці.

Засіб вимірювання	Ціна поділки	Час t , с			
		t_1	t_2	t_3	$t_{\text{сер}}$
Годинник					
Метроном					
Секундомір					

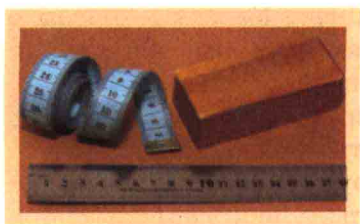
Аналіз результатів експерименту

- Проаналізувавши умови експерименту, порівняйте одержані результати і з'ясуйте:
 - яким із запропонованих приладів доцільніше користуватися;
 - з якою метою кожний дослід повторено тричі;
 - які умови проведення експерименту призводили до похибок;
 - як можна вдосконалити техніку проведення експерименту.
- Зробіть висновок, у якому зазначте, що ви вимірювали, який результат одержали.

Додаткове завдання

Визначте один із показників діяльності вашого серця — кількість ударів пульсу за хвилину. (Довідка: для дітей 11—15 років у спокійному стані нормою вважається частота пульсу 70—80 ударів за хвилину.)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4



Тема. Вимірювання лінійних розмірів тіл і площі їхньої поверхні.

Мета: виміряти лінійні розміри бруска за допомогою різних засобів, навчитися визначати площу плоских фігур правильної й неправильної форми.

Обладнання: мірна стрічка, учнівська лінійка, дерев'яний брусок, аркуш у клітинку.

Теоретичні відомості

1. Кожне фізичне тіло має властивість займати певну частину простору, тобто в нього є деяка **протяжність**.

До фізичних величин, які є мірою цієї властивості тіла, відносять насамперед **лінійні розміри тіла**: довжину (l), висоту (h) і ширину (d). Оскільки довжина, висота, ширина — це фізичні величини, їх можна вимірювати, тобто порівнювати з однорідною величиною, взятою за одиницю.

Одиницею довжини (висоти або ширини) у Міжнародній системі одиниць (СІ) є **метр (м)**.

Площа поверхні тіла також є фізичною величиною. Одиниця площі в СІ — **квадратний метр (м^2)**.

Нагадаємо: квадратний метр дорівнює площі квадрата зі стороною 1 метр.

2. Площі плоских фігур правильної геометричної форми, наприклад прямокутників, трикутників, кругів, зазвичай визначають за допомогою **непрямих вимірювань**. Спочатку вимірюють лінійні розміри фігури (довжину, висоту, ширину, радіус), а потім обчислюють площу, користуючись відповідними математичними формулами. Так, щоб визначити площу прямокутника, треба помножити довжину прямокутника l на його ширину d (рис. 1): $S = l \cdot d$.

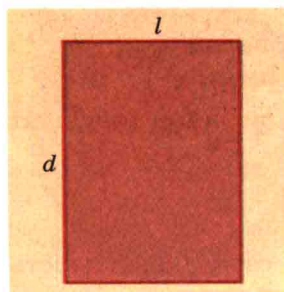


Рис. 1

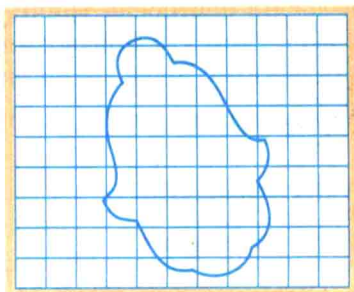


Рис. 2

$$\begin{aligned}
 1 \text{ м}^2 &= 100 \text{ дм}^2 = \\
 &= 10\,000 \text{ см}^2 = \\
 &= 1\,000\,000 \text{ мм}^2 = \\
 &= 0,000001 \text{ км}^2.
 \end{aligned}$$

3. Якщо фігура має неправильну геометричну форму, то її площу можна визначити за контуром цієї фігури на папері в клітинку або з допомогою палетки*. У цьому разі площу фігури обчислюють за формулою:

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

де n — кількість цілих квадратиків, k — кількість нецілих квадратиків, C — площа одного квадрата. Наприклад, площа фігури на рис. 2 дорівнює

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

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

- Перш ніж розпочати вимірювання, пригадайте:
 - як визначити ціну поділки шкали;
 - як правильно знімати показання приладу.
- Визначте й запишіть ціну поділки шкал мірної стрічки та лінійки.
- Обчисліть площу, яку займає одна клітинка на сторінці вашого зошита.

Експеримент

- За допомогою мірної стрічки визначте довжину l , ширину d і висоту h бруска.
- Повторіть усі вимірювання, використовуючи лінійку.
- Користуючись одержаними даними, обчисліть площу поверхні більшої грані бруска.
- Результати всіх вимірювань занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Засіб вимірювання	Ціна поділки шкали	Довжина бруска l , см	Ширина бруска d , см	Висота бруска h , см	Площа грані S	
					см ²	мм ²
Мірна стрічка						
Лінійка						

- Покладіть брусок більшою гранню на сторінку зошита й акуратно обведіть його олівцем.
- Полічіть кількість цілих n і нецілих k квадратиків усередині контуру.

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

7. Обчисліть площу грані бруска.
8. Результати обчислень занесіть до табл. 2.

Таблиця 2

Об'єкт вимірювання	Площа одного квадрата, см ²	Кількість квадратиків		Площа грані S	
		цілих (n)	нецілих (k)	мм ²	см ²
Більша грань бруска					

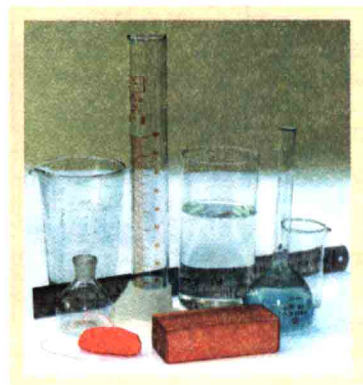
Аналіз результатів експерименту

1. Порівняйте результати вимірювань лінійних розмірів бруска (табл. 1) і з'ясуйте, яким із наявних у вас приладів доцільніше проводити такі вимірювання й чому.
2. Проаналізувавши різні способи визначення площі фігури, порівняйте результати вимірювань (табл. 1 і 2) і зазначте:
 - а) у яких випадках варто застосовувати той чи інший спосіб;
 - б) який зі способів визначення площі фігури є найточнішим;
 - в) як підвищити точність вимірювань, що виконуються за допомогою папки.
3. Зробіть висновок, у якому вкажіть, що саме ви вимірювали, для чого вам можуть пригодитися навички, набуті в ході виконання цієї роботи.

Додаткове завдання

Визначте площу вашої долоні й порівняйте її з площею долоні одного з членів вашої родини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5



Тема. Вимірювання об'ємів твердих тіл, рідин і газів.

Мета: навчитися визначати об'єми рідин, твердих тіл (правильної та неправильної форми) і газів.

Обладнання: мірний циліндр або мензурка, лінійка, посудина з водою, тіло неправильної форми, тіло, що має форму прямокутного паралелепіпеда, невелика колба, склянка.

Теоретичні відомості

1. Об'єм — це фізична величина, що характеризує властивість тіл займати ту чи іншу частину простору. *Одиницею об'єму в Міжнародній системі одиниць (СИ) є кубічний метр (м^3).*

Нагадуємо: кубічний метр дорівнює об'єму куба з ребром 1 м.

2. Об'єм рідини й газу вимірюють за допомогою мірного циліндра (рис. 1, а), або мензурки.

Для вимірювання об'єму рідини за допомогою мірного циліндра (мензурки) необхідно:

- а) перелити рідину в мірну посудину (вона набере форми посудини, а її верхня межа розташується на певній висоті залежно від об'єму);
- б) зауважити, навпроти якої позначки шкали розташована верхня межа стовпа рідини (рис. 1, б);
- в) знаючи ціну поділки шкали, обчислити об'єм рідини.

Вимірювання об'єму газу за допомогою мірного циліндра (мензурки) ґрунтується на властивості газу займати весь наявний об'єм. Тому, щоб визначити об'єм повітря, яке міститься в посудині, необхідно з'ясувати, чому дорівнює об'єм її внутрішньої частини, тобто місткість посудини.

Для вимірювання місткості посудини необхідно:

- а) заповнити посудину водою й перелити воду у мірний циліндр (мензурку);
- б) визначити об'єм перелитої води.

Значення об'єму води дорівнюватиме об'єму повітря, яке міститься в посудині.

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

- а) налити в мірний циліндр (мензурку) воду об'ємом V_1 так, щоб у неї можна було занурити тіло й вода не переливалася через край;
- б) занурити у воду тіло й виміряти загальний об'єм води разом із тілом V_2 ;

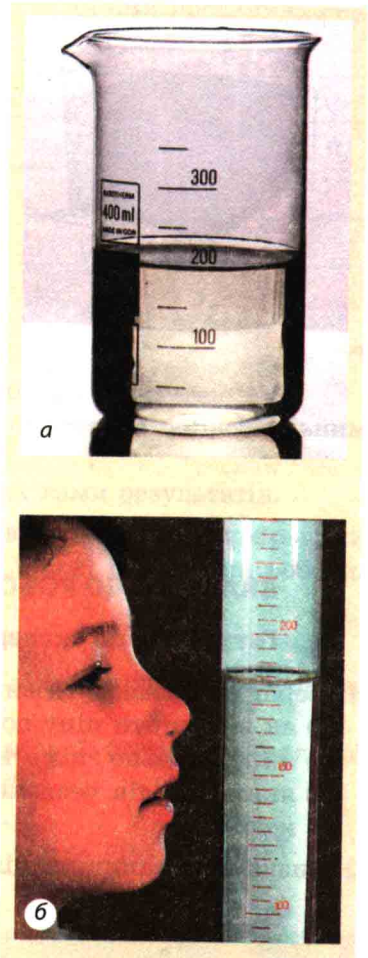


Рис. 1

$$\begin{aligned}
 1 \text{ м}^3 &= 1000 \text{ дм}^3 = \\
 &= 1\,000\,000 \text{ см}^3 = \\
 &= 1\,000\,000\,000 \text{ мм}^3 = \\
 &= 0,000000001 \text{ км}^3.
 \end{aligned}$$

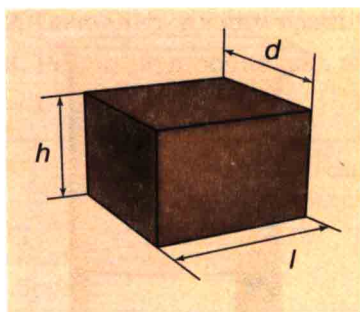


Рис. 2

в) обчислити об'єм витісненої тілом води як різницю вимірювань до і після занурення:

$$V = V_2 - V_1.$$

Одержане значення дорівнюватиме об'єму твердого тіла, тому що тіло витісняє рівно стільки рідини, скільки воно займає місця в просторі.

3. Якщо тіло має правильну геометричну форму, то, вимірявши лінійні розміри, можна визначити його об'єм за допомогою відповідних математичних формул. Наприклад, об'єм тіла, що має форму прямокутного паралелепіпеда (рис. 2), обчислюється за формулою:

$$V = ldh,$$

де l — довжина тіла; d — ширина тіла; h — висота тіла.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

- Перш ніж розпочати вимірювання, пригадайте:
 - як визначити ціну поділки шкали засобу вимірювання;
 - як правильно знімати показання мірного циліндра;
 - яких заходів безпеки потрібно дотримуватися, працюючи з мензурою.
- Визначте й запишіть ціну поділки лінійки та мірного циліндра.

Експеримент

Результати всіх вимірювань відразу ж заносить до таблиці.

- Виміряйте об'єм тіла неправильної геометричної форми за допомогою мірного циліндра.
- Визначте об'єм тіла правильної геометричної форми.

Вид тіла	Початковий об'єм води V_1 , см ³	Об'єм води й тіла V_2 , см ³	Об'єм тіла V	
			см ³	м ³
Тіло правильної геометричної форми				
Тіло неправильної геометричної форми				

- Визначте об'єм тіла правильної геометричної форми за допомогою лінійки.

Довжина тіла l , см	Ширина тіла d , см	Висота тіла h , см	Об'єм тіла V , см ³

4. Виміряйте об'єм повітря, яке міститься в колбі й інших посудинах, що стоять на вашому столі.

Номер досліду	Назва посудини	Об'єм рідини, см ³	Об'єм повітря, см ³
1			
2			
3			

Аналіз результатів експерименту

- Проаналізувавши різні способи вимірювання об'єму, зазначте:
 - який зі способів визначення об'єму твердого тіла є універсальним і чому;
 - які чинники вплинули на точність одержаних вами результатів.
- Зробіть висновок, у якому вкажіть, що саме ви навчилися вимірювати й для чого можуть придатися навички, набуті в ході виконання роботи.

Додаткове завдання

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

- його об'єм є меншим, ніж ціна поділки мірної посудини, наявної у вас;
- тіло не вміщується в посудину, наявну у вас.

§ 6. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ

■ Чому Місяць рухається навколо Землі, а не летить у космічний простір? Яке тіло називається зарядженим? Як взаємодіють одне з одним заряджені тіла? Чи часто ми маємо справу з електромагнітною взаємодією?

Це тільки частина питань, із якими нам належить розібратись у цьому параграфі. Починаймо!

1 Переконаємося, що тіла взаємодіють

У повсякденному житті ми постійно зустрічаємося з різними видами впливу одних тіл на інші. Щоб відчинити двері, потрібно «подіяти» на них рукою; від дії ноги м'яч летить у ворота; навіть сідаючи на стілець, ви чините вплив на нього (рис. 1.35).

Водночас, відчиняючи двері, ми відчуваємо їхній вплив на нашу руку; дія м'яча на ногу особливо відчутна, якщо ви граєте у футбол босоніж; дія стільця не дозволяє нам упасти на підлогу. Тобто дія завжди є взаємодією:



Рис. 1.35. Приклади взаємодії тіл

якщо одне тіло діє на друге, то і друге тіло діє на перше.

Можна наочно переконатися в тому, що дія не буває одnobічною. Проведіть нескладний експеримент: стоячи на ковзанах, легенько штовхніть свого товариша. У результаті почне рухатися не тільки ваш товариш, але й ви самі.

Ці приклади підтверджують висновок учених про те, що в природі ми завжди маємо справу із взаємодією, а не з одnobічною дією.

Розгляньмо докладніше деякі види взаємодії.

2

Згадуємо про гравітаційну взаємодію

Чому будь-який предмет, випущений із руки: олівець, дерев'яна дощечка, краплина дощу та ін. — падає, рухається вниз (рис. 1.36)? Чому стріла, пущена з лука, не летить прямо, а врешті-решт падає на землю? Чому Місяць рухається навколо Землі, а планети Сонячної системи — навколо Сонця? Причина всіх цих явищ полягає в тому, що Земля притягує до себе інші тіла, а ці тіла також притягують до себе Землю. Наприклад, притягання Місяця викликає на Землі припливи (рис. 1.37). Наша планета й усі інші планети Сонячної системи притягаються до Сонця й одна до одної.

1687 року видатний англійський фізик Ісаак Ньютон (рис. 1.38) сформулював закон,



Рис. 1.36. Краплі дощу падають униз під дією притягання Землі

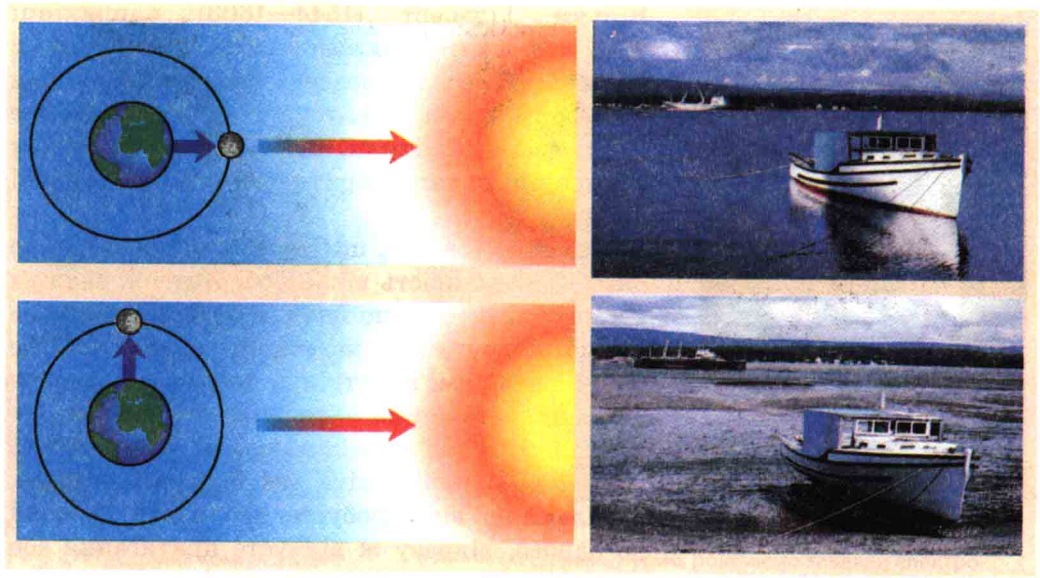


Рис. 1.37. Припливи є наслідком притягання Місяця

відповідно до якого між усіма тілами у Всесвіті існує взаємне притягання. Таке *взаємне притягання матеріальних об'єктів називають гравітаційною взаємодією*. Спираючись на досліді й математичні розрахунки, Ньютон визначив, 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.

3 Знайомимося з електромагнітною взаємодією

Існують інші види взаємодії. Наприклад, якщо потерти повітряну кульку шматочком шовку, вона почне притягати до себе різні легкі предмети: ворсинки, зернятка рису, клаптики паперу (див. рис. 1.39). Про таку кульку кажуть, що вона *наелектризована*, або *заряджена*.

Заряджені тіла взаємодіють між собою, але характер їхньої взаємодії може бути різним: вони або притягаються, або відштовхуються одне від одного (див. рис. 1.40). Уперше серйозно дослідив це явище англійський науковець

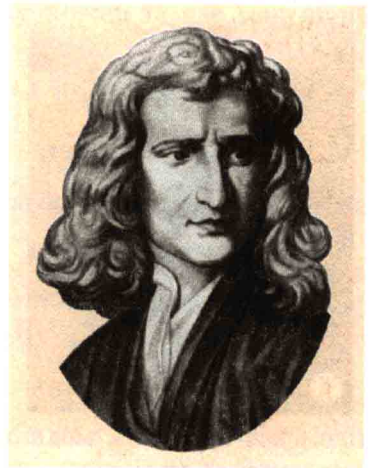


Рис. 1.38. Видатний англійський учений Ісаак Ньютон (1643—1727)

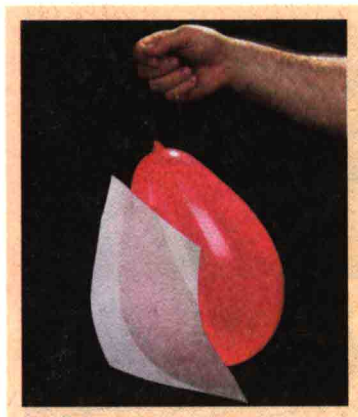
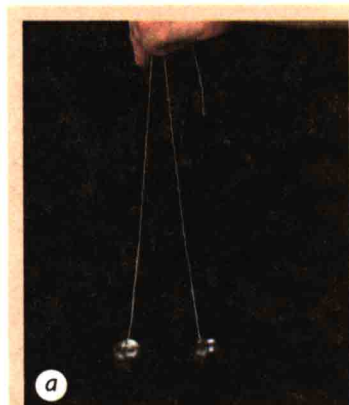
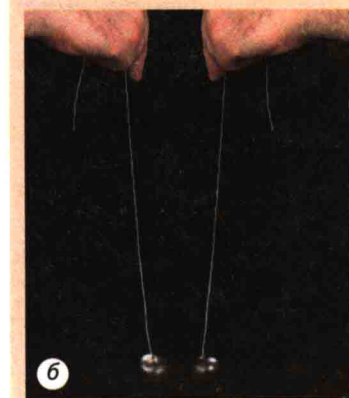


Рис. 1.39. Наелектризована кулька притягує до себе аркуш



а



б

Рис. 1.40. Дві заряджені кульки взаємодіють між собою:
а — відштовхуються;
б — притягуються

Вільям Гільберт (1544—1603) наприкінці XVI століття. *Взаємодію між зарядженими тілами* Гільберт назвав **електричною** (від грецького слова *elektron* — бурштин, бо ще давні греки помітили, що бурштин унаслідок натирання починає притягувати до себе дрібні предмети).

Ви добре знаєте, що стрілка компаса, якщо дати їй можливість вільно обертатися, завжди зупиняється так, що один її кінець указує на північ, а другий — на південь (рис. 1.41). Це пов'язане з тим, що стрілка компаса — магніт, наша планета Земля — теж магніт, причому величезний, *а два магніти завжди взаємодіють один з одним*. Візьміть два будь-які магніти, і, тільки-но ви спробуєте наблизити їх один до одного, відразу ж відчуєте притягання або відштовхування. Така взаємодія називається **магнітною**.

Фізики встановили, що закони, які описують електричну і магнітну взаємодію, єдині. Тому в науці прийнято говорити про єдину **електромагнітну взаємодію**.

З електромагнітною взаємодією ми зустрічаємося буквально на кожному кроці: ідучи, ми взаємодіємо з покриттям дороги (відштовхуємось), і природа цієї взаємодії є електромагнітною. Завдяки електромагнітній взаємодії ми рухаємося, сидимо, пишемо. Бачимо, чуємо, сприймаємо нюхом і дотиком ми також за допомогою електромагнітної взаємодії (рис. 1.42). Дія більшості сучасних приладів і побутової техніки ґрунтується на електромагнітній взаємодії.

Скажемо більше: існування фізичних тіл, у тому числі й нас із вами, було б неможливим без електромагнітної взаємодії. Але як з усім цим пов'язана взаємодія заряджених кульок і магнітів? — запитаєте ви. Не поспішайте: вивчаючи фізику, ви обов'язково переконаєтеся, що цей зв'язок існує.

4

Зустрічаємося з нерозв'язаними проблемами

Наш опис буде неповним, якщо ми не згадаємо ще два види взаємодії, відкриті тільки



Рис. 1.41. Стрілка компаса завжди зорієнтована на північ



Рис. 1.42. Бачимо, чуємо, розуміємо завдяки електромагнітній взаємодії

в середині минулого століття. Вони називаються **сильна** і **слабка** взаємодії й діють тільки в межах мікросвіту. Таким чином, *існують чотири різні види взаємодії*. Чи не забагато? Звичайно, було б зручніше мати справу з єдиним універсальним видом взаємодії. Тим більше, що приклад об'єднання різних взаємодій — електричної та магнітної — у єдину електромагнітну вже є.

Протягом кількох десятиліть учені намагаються створити теорію такого об'єднання. Деякі кроки вже зроблено. У 60-х роках XX століття вдалося створити теорію так званої електрослабкої взаємодії, у межах якої було об'єднано електромагнітну та слабку взаємодії. Але до повного («великого») об'єднання всіх видів взаємодій ще далеко. Тому кожен із вас має шанс зробити наукове відкриття світового значення!



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Взаємодією у фізиці називається дія будь-яких тіл або частинок одне на одне.

Ми коротко схарактеризували два види взаємодії з чотирьох, відомих науці: гравітаційну й електромагнітну.

Притягання тіл до Землі, планет до Сонця й навпаки — це приклади гравітаційної взаємодії.

Прикладом електричної взаємодії є взаємодія наелектризованої повітряної кульки з дрібними шматочками паперу. Прикладом магнітної взаємодії слугує взаємодія стрілки компаса із Землею, яка теж є магнітом, у результаті чого один кінець стрілки завжди вказує на північ, а другий — на південь.

Електрична й магнітна взаємодії — це вияви єдиної електромагнітної взаємодії.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади взаємодії тіл. 2. Які види взаємодії існують у природі? 3. Наведіть приклади гравітаційної взаємодії. 4. Хто відкрив закон, відповідно до якого між усіма тілами у Всесвіті існує взаємне притягання? 5. Наведіть приклади електромагнітної взаємодії.



Вправа

Напишіть короткий твір на тему «Мій дослід, що підтверджує взаємодію тіл» (це можуть бути навіть вірші!).

Фізика й техніка в Україні



Значну частину свого короткого життя **Лев Васильович Шубников** (1901—1945) прожив у Харкові, де очолював лабораторію низьких температур. Рівень точності багатьох вимірювань у лабораторії не поступався сучасному. У лабораторії в 30-х роках було одержано кисень, азот та інші гази в рідкому стані. Шубников започаткував дослідження металів у так званому надпровідному стані, коли електричний опір матеріалу дорівнює нулю.

Найвища нагорода для вченого — це використання для назви відкритого ним явища його прізвища замість технічного терміна. «Ефект Шубникова» — де Гааза; «фаза Шубникова»; «метод Обреїмова—Шубникова» — це лише декілька прикладів внеску видатного українського вченого в сучасну фізику.

§ 7. СИЛА — МІРА ВЗАЄМОДІЇ. ЕНЕРГІЯ

■ Початковий зміст слова «сила» й утворених від нього «силач», «сильний» пов'язаний із можливостями людини, з її м'язовими зусиллями. За давньогрецьким міфом, герой Тесеї для доведення своєї сили мусив зрушити величезну кам'яну брилу й дістати з-під неї батьків меч. А який зміст вкладають фізики в поняття «сила»?



1 Згадуємо поняття «сила»

Поняття «сила» нерозривно пов'язане із взаємодією фізичних тіл. Щоб зрушити кам'яну брилу, Тесеєві довелося взаємодіяти з нею. Наші руки взаємодіють зі стільцем, який необхідно пересунути. У момент стрибка наші ноги взаємодіють із землею.

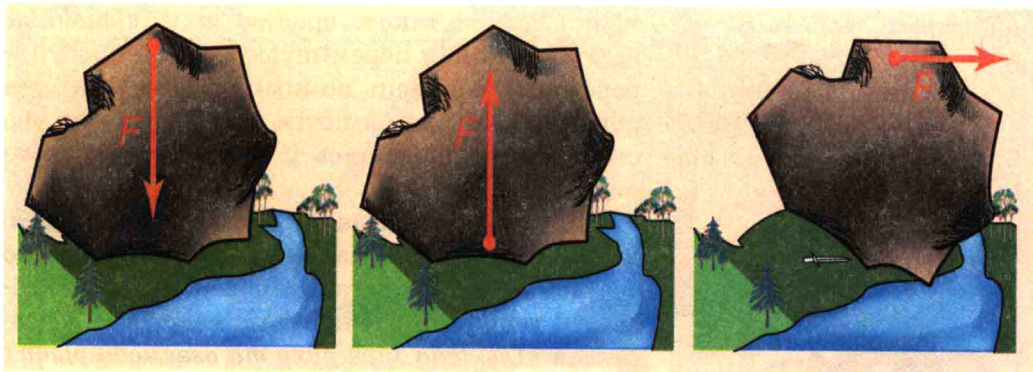


Рис. 1.43. Тесеї намагався дістати меч свого батька з-під брили різними способами. Для кожного з них зазначено напрямок і точку прикладення сили

Зверніть увагу на те, що в кожному з наведених прикладів результат буде різним залежно від того, наскільки сильною була та чи інша взаємодія. Так, семикласникові неважко пересунути стілець, а для маляти-дошкільника це завдання може виявитися невіддільним. Підіймальний кран легко підняв би брилу, яку Тесеї ледь зрушив із місця. Чим вище ви намагаєтесь стрибнути, тим сильніше треба відштовхнутись. Із цих прикладів стає очевидним, що взаємодію тіл слід визначати кількісно.

Фізична величина, за допомогою якої кількісно визначають взаємодію тіл, називається **силою**.

Іншими словами, сила — це кількісна міра взаємодії тіл. Силу позначають символом F . Одиницею сили в СІ є **ньютон (1 Н)**.

Щоб схарактеризувати силу, необхідно вказати не тільки її числове значення, але й напрямок сили та точку її прикладення. Одна й та сама за значенням сила може привести до зовсім різних результатів залежно від напрямку її дії (рис. 1.43). Хоч яким силачем був легендарний Тесеї, він не зміг би зрушити брилу з місця, якби тиснув на неї згори вниз. Імовірно, йому не вистачило б сил і для того, щоб підняти камінь (напрямок сили знизу вгору). Але тієї ж сили, прикладеної в горизонтальному напрямку, виявилось досить, щоб витягти зі схованки батьків меч.

2 З'ясуємо, що означають поняття «робота» й «енергія» для фізиків

Тісно пов'язана із силою ще одна фізична величина, яка називається **роботою**. У широкому значенні поняття «робота» охоплює багато видів людської діяльності — наприклад, обчислення на комп'ютері, які практично не вимагають м'язових зусиль. У природознавстві ж поняття «робота» вживають у тому разі, коли відбувається переміщення тіла під дією сили. Кран на будівництві виконує роботу, піднімаючи цеглу, причому чим більший вантаж потрібно підняти, тим більшу роботу виконує

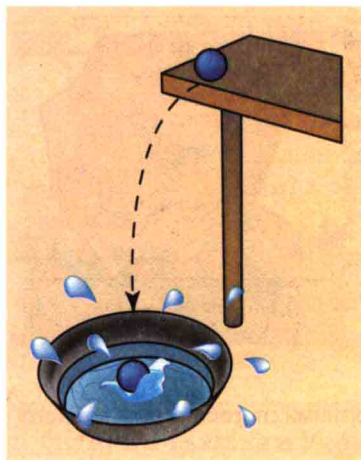


Рис. 1.44. Кулька, упавши у воду, розбризкала її. У таких випадках кажуть, що кулька виконала роботу

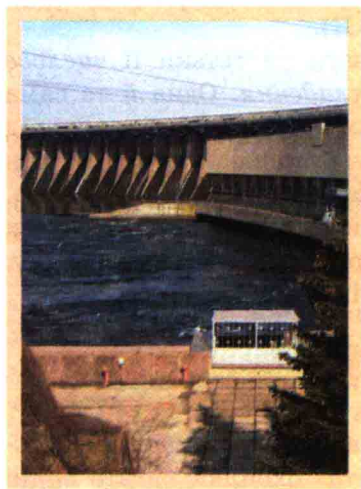


Рис. 1.45. На гідроелектростанціях вода, падаючи (механічна енергія), обертає турбіни, які виробляють електричну енергію

кран. Робота також зростає зі збільшенням відстані, на яку переміщують тіло. Спробуйте перемістити стілець по кімнаті спочатку один раз, потім десять, а потім разів п'ятдесят або сто, і ви переконаєтесь у правильності цього висновку.

Тут ви маєте познайомитися зі ще однією дуже важливою фізичною величиною, що зветься енергією. Загальне визначення цієї фізичної величини звучить так: **енергія** — це загальна кількісна міра руху та взаємодії різних видів матерії.

Стосовно фізичних тіл ми з вами будемо користуватися таким формулюванням:

Фізична величина, що характеризує здатність тіла виконувати роботу, називається **енергією** тіла.

Зазвичай енергію позначають символом W і вимірюють її в джоулях (1 Дж).

Здатність тіл виконувати роботу можна продемонструвати на такому прикладі. Помістимо маленьку кульку на край столу, а на підлозі поставимо невелику посудину з водою (рис. 1.44). Якщо зіштовхнути кульку з краю столу, то вона полетить униз, упаде у воду й розхлюпає частину рідини. Поява бризок означає, що кулька виконала певну роботу. Якщо ж кульки не торкатися, вона залишиться нерухомо лежати на столі. Таким чином, енергія кульки може бути реалізована виконанням роботи під час падіння або збережеться «до ліпших часів».

3 Дізнаємося про перетворення одних видів енергії на інші

Ви, безперечно, знайомі з поняттям «теплова енергія»* й «електрична енергія». Але, виявляється, існують ще й «механічна енергія», «хімічна енергія», «енергія світла» та інші форми енергії. Різні форми енергії мо-

* У цьому розділі ми вживаємо поняття «теплова енергія» замість зазвичай використовуваного фізиками «внутрішня енергія». Це зроблено свідомо, щоб підкреслити зв'язок внутрішньої енергії з температурою.

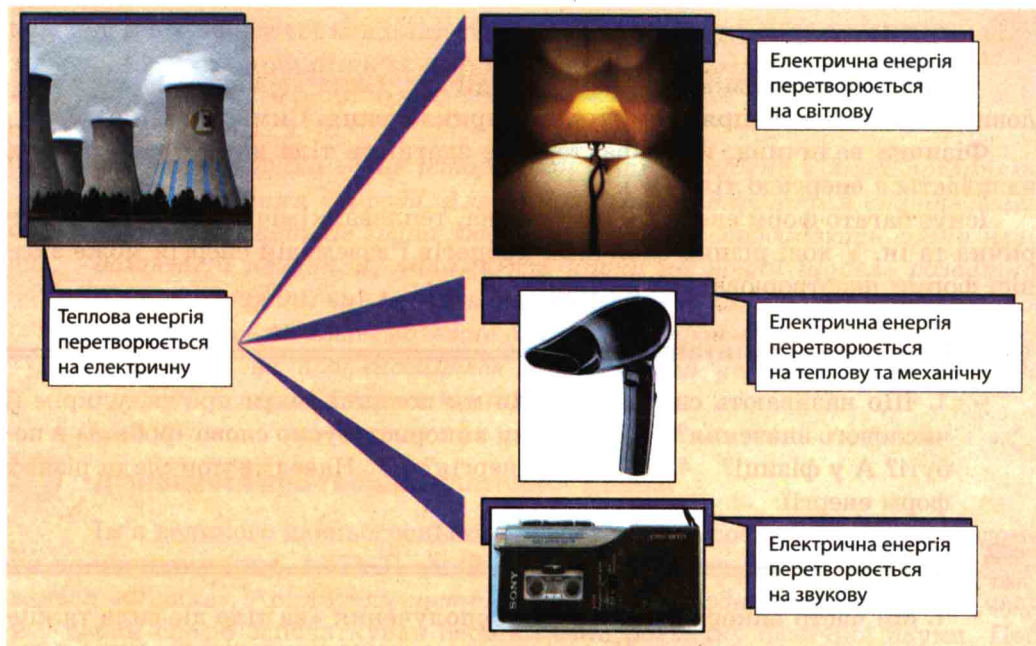


Рис. 1.46. Деякі приклади перетворення енергії в промисловості та побутових пристроях

жуть перетворюватись одна в одну. Так, механічна енергія падаючої кульки (рис. 1.44) перетворилась на механічну енергію бризок води. Однак точні вимірювання температури покажуть, що вода в посудині після падіння в неї кульки трохи нагрілась. Отже, механічна енергія кульки частково перетворилась на механічну енергію бризок, а частково — на теплову енергію води.

Перетворення енергії ви здійснюєте щодня, часто навіть не підозрюючи про це (рис. 1.46). Так, коли ми вмикаємо магнітофон, частина електричної енергії перетворюється на звукову енергію. Засвічуючи лампочку, ми даємо можливість електричній енергії перетворитись на світлову й теплову. У цьому разі перетворення на світлову енергію є очевидним, а для перевірки того, що електрична енергія перетворилась на теплову, досить наблизити долоню до лампочки — і ви відразу ж відчуєте тепло.

Перетворення електричної енергії на теплову в лампочці — «побічний» і навіть шкідливий ефект. Однак почасти електричну енергію перетворюють на теплову цілеспрямовано, створюючи для цього спеціальні пристрої. Це всім відомі електричний чайник, праска, електрокамін, нагрівальний елемент автоматичної пральної машини й інші побутові пристрої. Перетворення електричної енергії на теплову використовують і в промисловості — наприклад, для виплавлення металів.

Щоб у вас не виникло помилкове враження, ніби тільки електрична енергія може перетворюватися на інші форми енергії, відзначимо й протилежні процеси. Наприклад, на гідроелектростанціях механічна енергія падаючої води перетворюється на електричну (рис. 1.45).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Сила — це кількісна міра взаємодії тіл. Сила характеризується числовим значенням, напрямком, точкою прикладення. Символ сили — F .

Фізична величина, що характеризує здатність тіла виконувати роботу, називається енергією тіла (W).

Існує багато форм енергії — механічна, теплова, хімічна, звукова, електрична та ін. У ході різних фізичних процесів і взаємодій енергія може з однієї форми перетворюватися на інші.



Контрольні запитання

1. Що називають силою?
2. Що ми повинні знати про силу, крім її числового значення?
3. Коли ми використовуємо слово «робота» в побуті? А у фізиці?
4. Що таке енергія?
5. Наведіть приклади різних форм енергії.



Вправи

1. Ми часто використовуємо словосполучення «на тіло діє сила тяжіння» або «руху автомобіля заважає сила опору повітря», хоча, з погляду фізики, точніше було б сказати: «на тіло діє Земля, її дія характеризується силою тяжіння» й «руху автомобіля заважає повітря, дія якого характеризується силою опору повітря». Спробуйте навести аналогічні приклади.
2. Доберіть прислів'я та приказки, у яких зустрічаються слова «сила», «енергія», «робота». Побутовий чи фізичний зміст закладено в них?
3. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи побутового вентилятора?

Фізика й техніка в Україні



Виробниче об'єднання «Південмаш» і конструкторське бюро «Південне»

На початку 50-х років минулого століття великий автомобільний завод у Дніпропетровську було переобладнано на завод із виробництва космічних ракет та створено конструкторське бюро (КБ) для їх розробки. З того часу КБ «Південне» та завод «Південмаш» визначають світовий рівень багатьох напрямів і досягнень у ракетно-космічній науці й техніці.

Конструктори КБ «Південне» розробили 67 типів космічних апаратів і 12 космічних комплексів. Останнім часом КБ «Південне» та «Південмаш» створили найдосконаліший у світовій ракетно-космічній техніці за конструктивним виконанням та автоматизацією готування до пуску комплекс «Зеніт». А всього в співдружності з «Південмашем» було виготовлено та виведено на орбіту понад 400 космічних апаратів.

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

■ Історія фізики — це історія відкриттів, кожне з яких поглиблює наше розуміння природи. Але за будь-яким відкриттям стоїть жива людина, а частіше група людей, чії зусилля пробивають стіну невідомості й незнання, підіймають науку на новий щабель розвитку. Хто ж ці люди, чії імена нерозривно пов'язані з прогресом фізичної науки? Тут ми назвемо лише декого, але, продовжуючи вивчення курсу фізики, ви познайомитеся з десятками ушанованих дослідників природи й першовідкривачів невідомого.

1 Дізнаємося про творців класичної фізики

Ім'я великого давньогрецького вченого й філософа Арістотеля відоме чи не кожному (рис. 1.47). В одній зі своїх головних праць, що так і називалася «Фізика», Арістотель систематизував природничі знання свого часу й у такий спосіб започаткував перший етап розвитку фізичної науки. Цей етап тривав до кінця XVI сторіччя.

Не можна не назвати ще одного грецького мислителя й інженера — Архімеда (рис. 1.48). Він увійшов в історію науки як автор закону, названого його ім'ям. Про цього вченого збереглося чимало легенд. Відповідно до однієї з них, поштовхом до відкриття закону Архімеда стала необхідність розв'язати задачу, яку поставив перед Архімедом цар міста Сиракузи



Рис. 1.47. Арістотель
(384—322 рр. до н. е.)



Рис. 1.48. Архімед
(бл. 287—212 рр. до н. е.)



Рис. 1.49. Важелі та блоки широко застосовуються в підймальних кранах



Рис. 1.50. Галілео Галілей (1564—1642)



Рис. 1.51. Робота всіх сучасних електротехнічних пристроїв і приладів ґрунтується на рівняннях Дж. Максвелла (1831—1879)

Гієрон. Ішлося про те, щоб з'ясувати вміст золота й срібла в сплаві, з якого була виготовлена корона царя. Ще одна легенда приписує давньогрецькому вченому й творцеві складних механізмів вислів: «Дайте мені точку опори, і я переверну світ». Відкриття Архімеда є основою для багатьох сучасних механізмів. (рис. 1.49).

Другий етап розвитку фізики відкривають праці *Галілео Галілея* (рис. 1.50) — великого італійського фізика й астронома, який уперше застосував *експериментальний метод* у науці. Своє перше видатне відкриття вчений зробив у 19 років. Спостерігаючи в храмі коливання підвішеної на ланцюзі лампади й порівнюючи їх із частотою биття власного пульсу, він установив, що період коливань лампади не залежить від їхньої амплітуди. Це відкриття пізніше лягло в основу конструкції механічного годинника.

Існує думка, що великі відкриття, формулювання нових законів — це результат роботи маститих учених, людей поважного віку. Насправді, як свідчить історія науки, все інакше: відкриття часто роблять зовсім молоді люди. Так, уже у 25 років Галілей став професором Пізанського університету, а через короткий час вивів закони вільного падіння тіл. Ще одним підтвердженням може бути життя Галілеєвого послідовника *Ісаака Ньютона* — геніального англійського фізика й математика, який сформулював три основні закони руху. Одне з найбільших відкриттів за всю історію фізики — *закон всесвітнього тяжіння* — Ньютон зробив у 24 роки.

Неможливо уявити сучасне життя без електрики. Але чи знаєте ви, що теоретичною основою всієї електротехніки й радіозв'язку є чотири знаменитих рівняння Джеймса Клерка Максвелла? Свої перші дослідження юний фізик опублікував, коли йому ледь виповнилося 15 років. А в 33 роки Максвелл завершив одну з найважливіших праць, у якій виклав основні поняття теорії електромагнетизму.

Аж до початку XIX століття відповідь офіційної науки на питання, чим відрізняється



Рис. 1.52. Л. Больцман (1844—1906)



Рис. 1.53. Робота двигунів внутрішнього згорання, турбін літаків базується на законах термодинаміки, у відкритті яких величезна роль належить Л. Больцману

холодний суп від гарячого, була приблизно такою: гарячий суп містить більше теплоруду, ніж холодний. Звучить загадково й нічого не пояснює. Але завдяки зусиллям групи вчених того часу вдалося пролити світло на природу теплових явищ і пояснити процеси перетворення тепла. У такий спосіб було створено теоретичну базу для сучасних теплових двигунів. Завершеності цим теоретичним дослідженням надав у своїх працях *Людвіг Больцман* (рис. 1.52) — видатний австрійський фізик-теоретик. Перша з них побачила світ, коли Л. Больцману виповнилося 22 роки, а остання — через шість років.

До кінця XIX століття було відкрито закони механіки й електромагнетизму, закладено фундамент теорії теплових явищ. Саме тоді в багатьох учених виникло переконання, що розвиток фізики завершився.

2

Дізнаємося про творців сучасної фізики

Однак 1905 року в німецькому фізичному журналі з'явилася стаття невідомого автора, працівника патентного бюро в Берні (Швейцарія). Звали того *Альберт Ейнштейн* (1879—1955), і після цієї публікації він став найбільш ушлявленим фізиком на нашій планеті (рис. 1.54). У його роботі було викладено основи *спеціальної теорії відносності*, що

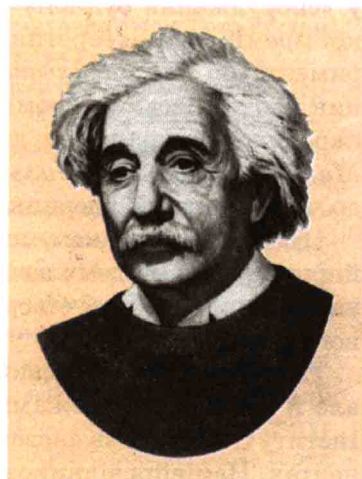


Рис. 1.54. А. Ейнштейн (1879—1955)



Рис. 1.55. Е. Резерфорд
(1871—1937)



Рис. 1.56. Н. Бор
(1885—1962)



Рис. 1.57. Наукові праці Резерфорда й Бора заклали основи атомної енергетики

змусила вчених у всьому світі переглянути застарілі погляди на простір і час, масу й енергію.

Так почався новий етап у розвитку фізичної науки. Протягом цього етапу повністю змінився характер фізичних досліджень. Відкриття радіоактивності й прагнення досягнути таємниці будови речовини спричинили створення квантової теорії. Біля витоків цього напрямку стояли такі видатні вчені, як *Ернест Резерфорд* (рис. 1.55) — дійсний член усіх академій наук світу (і цим усе сказано!) — та *Нільс Бор* (рис. 1.56) — данський фізик, який у 28 років зробив революцію у фізиці, створивши *теорію будови атома* — основної «цеглинки» світобудови (рис. 1.57).

3 Дізнаємося про українських учених

Учені, чия творчість розвивалася в Україні, також зробили свій внесок у «спорудження будівлі» сучасної фізики. Серед них — лауреат Нобелівської премії фізик-теоретик *Лев Давидович Ландау* (1908—1968), фізик-експериментатор *Лев Васильович Шубников* (1901—1945), електротехнік і дослідник рентгенівських променів *Іван Павлович Пулюй* (1845—1918). В Україні народився й працював дослідник радіоактивності та земного магнетизму *Микола Дмитрович Пильчиков* (1857—1908), якого сміливо можна віднести до числа перших ядерників-експериментаторів.

На зміну одинакам, які розвивали фізику до початку ХХ століття, прийшли групи, а згодом і величезні колективи науковців. Так, наприклад, у міжнародному проєкті зі створення основи енергетики майбутнього — термоядерного реактора — беруть участь десятки тисяч дослідників із кількох країн.

Досягнення українських учених широко відомі не тільки в нашій країні, але й далеко за її межами. Матеріали та технології, створені в київському Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона, застосовують на всіх континентах. Напівпровідникові кристали, які роблять в Інституті монокристалів (Харків) і науково-виробничому об'єднанні «Карат» (Львів), не поступаються найкращим світовим зразкам. Мають авторитет у науковому світі розроб-

ки Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова (Київ) у галузі обчислювальної техніки й інформаційних технологій. Одним із центрів ядерної фізики є Харківський фізико-технічний інститут НАН України. У Дніпропетровську створено унікальний ракетний комплекс «Зеніт». Надійність і екологічно чисте паливо дали змогу використати його в міжнародному космічному проєкті (рис. 1.58).



Рис. 1.58. Старт ракети, створеної українськими вченими



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

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



Контрольні запитання

1. Назвіть імена відомих вам учених-фізиків. У яких галузях фізичної науки вони працювали?
2. Чому фізика є основою техніки?

Фізика й техніка в Україні



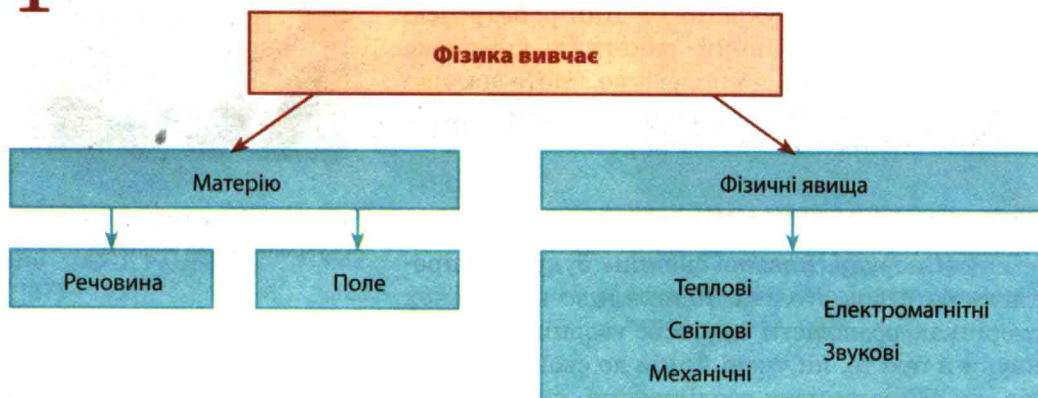
Інститут проблем математичних машин та систем Національної академії наук України (Київ)

Без кібернетики — науки про загальні закони одержання, зберігання, передачі та обробки інформації — сьогодні не може працювати жодний великий завод, банк, транспортна компанія. Автоматизовані системи управління (АСУ) не тільки керують виробничими процесами, польотами в космос, але й допомагають приймати рішення на рівні держави. Саме розробками складних АСУ займаються фахівці Інституту проблем математичних машин та систем.

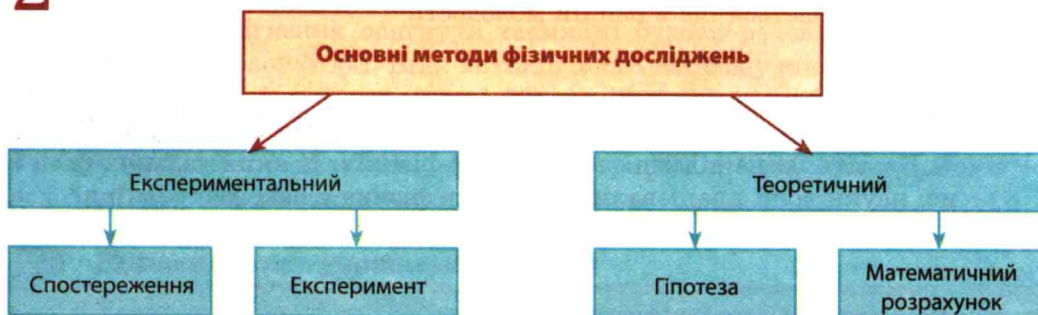
Історія інституту почалась у середині минулого століття, коли за ініціативою академіка Віктора Михайловича Глушкова (1923—1982) був заснований Обчислювальний центр Академії наук України. У 1992 році один із його підрозділів було перетворено в Інститут проблем математичних машин та систем. Сьогодні інститут посідає провідне місце серед наукових організацій країни. Так, система голосування народних депутатів у Верховній Раді України (див. рисунок) була розроблена фахівцями саме цього інституту.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1 «ПОЧИНАЄМО ВИВЧАТИ ФІЗИКУ»

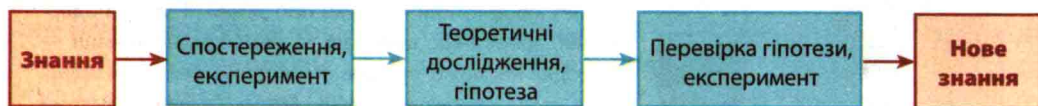
1 У розділі 1 ви одержали відповідь на питання: що вивчає фізика?



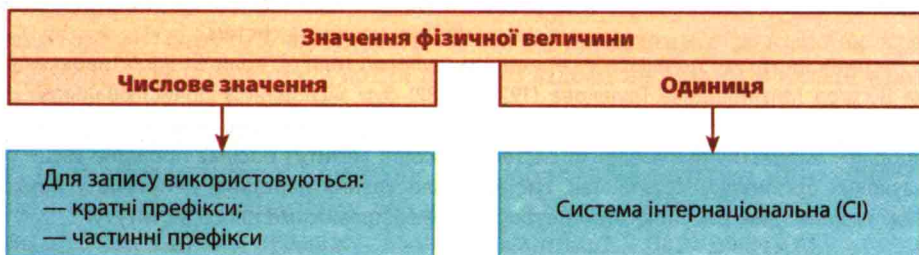
2 Ви познайомилися з основними методами фізичних досліджень.



а також простежили етапи пізнавальної діяльності фізиків:

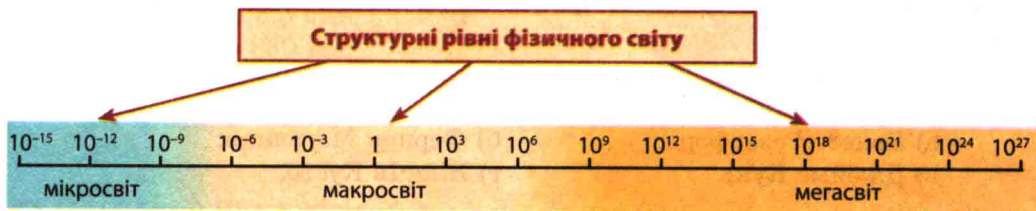


3 Ви розширили свої знання про фізичні величини.



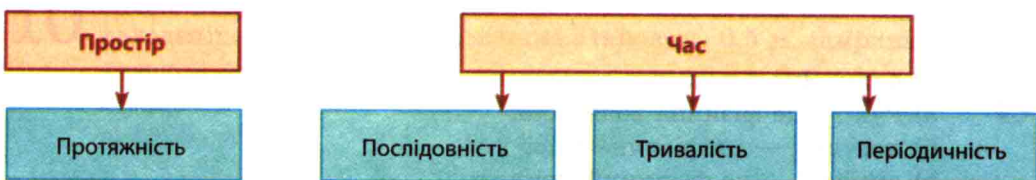
4

Ви довідалися про існування трьох структурних рівнів фізичного світу.



5

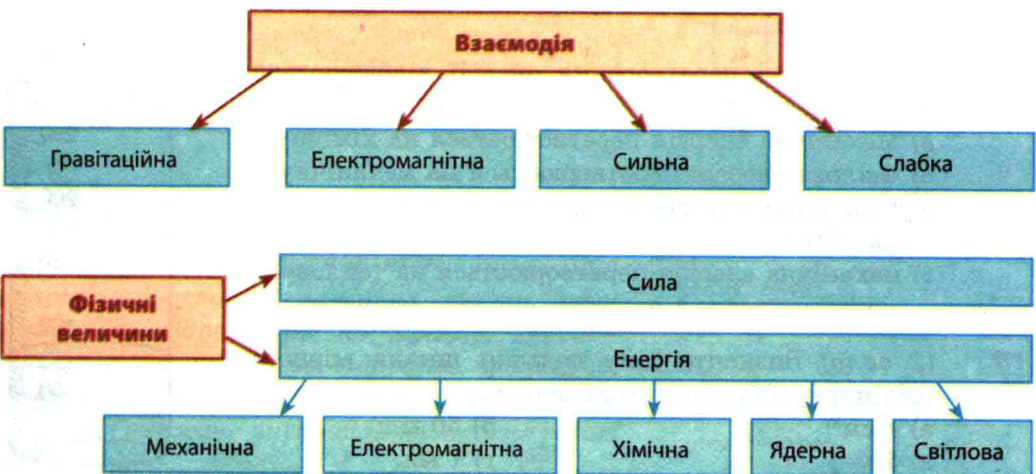
Ви переконалися в тому, що Всесвіт існує в просторі й у часі.



	Фізичні величини	Одиниці СІ	Прилади
Протяжність простору	довжина	метр, м	лінійка
	площа	метр квадратний, м ²	палетка
	об'єм	метр кубічний, м ³	мензурка
Тривалість події	час	секунда, с	годинник

6

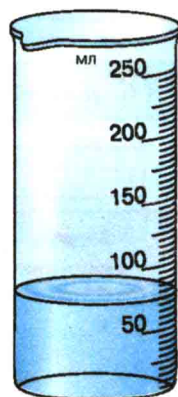
Ви познайомилися з різними видами взаємодії, а також із фізичними величинами, які характеризують взаємодію.



ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 1 «ПОЧИНАЄМО ВИВЧАТИ ФІЗИКУ»

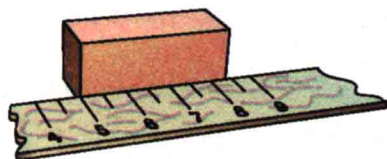
У завданнях 1—11 виберіть правильну відповідь.

- 1** (1 бал) Хто з перелічених дослідників зробив великий внесок у розвиток фізики?
а) Ернест Резерфорд; б) Фернан Магеллан;
в) Джеймс Кук; г) Жак-Ів Кусто.
- 2** (1 бал) Об'єктом якого структурного рівня фізичного світу є людина?
а) Мегасвіту; б) макросвіту;
в) мікросвіту; г) визначити неможливо.
- 3** (2 бали) Яке з поданих тверджень є правильним?
а) Рух — це фізична величина;
б) платина — це фізичне тіло;
в) лінійка — це фізичний прилад;
г) годинник — це фізичне явище.
- 4** (2 бали) Яке з наведених понять належить до фізичних явищ?
а) Швидкість; б) нагрівання;
в) час; г) вітер.
- 5** (2 бали) Чим експерименти відрізняються від спостережень?
а) Під час спостережень проводяться вимірювання;
б) експерименти проводяться з певною метою, за планом, при цьому виконуються необхідні вимірювання;
в) під час експериментів не виконують вимірювань;
г) спостереження є критерієм істинності гіпотези.
- 6** (2 бали) Які перетворення енергії відбуваються в той час, коли ви ковзаєте по льоду?
а) Механічна енергія перетворюється на хімічну;
б) теплова енергія перетворюється на механічну;
в) механічна енергія перетворюється на електромагнітну;
г) механічна енергія перетворюється на теплову.
- 7** (2 бали) Визначте ціну поділки шкали мірного циліндра, зображеного на малюнку.



8 (3 бали) Оцініть довжину бруска, зображеного на малюнку.

- а) Близько 8,3 см;
б) близько 830 мм;
в) близько 3,3 см;
г) близько 330 мм.



9 (4 бали) Яка з нерівностей є правильною?

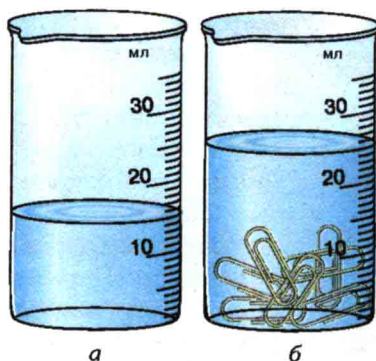
- а) 520 см > 52 дм;
б) 2000 мкм > 20 мм;
в) 3300 г < 33 кг;
г) 3 с < 300 мс.

10 (4 бали) Якою є місткість акваріуму, що має форму прямокутного паралелепіпеда, якщо його довжина становить 0,5 м, ширина 300 мм, а висота 42 см?

- а) 0,063 м³;
б) 630 000 см³;
в) 6300 см³;
г) 6300 мм³.

11 (5 балів) У мірний циліндр налили воду (рисунок а), потім туди ж опустили 50 скріпок (рисунок б). Обчисліть приблизний об'єм однієї скріпки.

- а) 0,5 см³;
б) 50 мм³;
в) 25 см³;
г) 0,2 см³.



12 (8 балів) Складіть питання до заповненого кросворда.

	² Г	³ Г		⁵ П		
	о	а		р		
	д	л	⁴ М	и		
	и	і	і	т		
¹ с	н	л	к	я	⁶ М	⁷ Т
	е	н	е	р	г	і
	к	и	й	о	а	р
	у	к		с	н	а
	н			в	н	
	д			і	я	
	а			т		

Звірте ваші відповіді на запитання 1—11 із наведеними наприкінці підручника. Щоб перевірити останнє завдання тесту, зверніться до відповідних параграфів. Позначте питання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших знань.

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

Радіолокатор / радар

На початку 20 століття було виявлено, що радіохвилі відбиваються від металевих предметів. Це відкриття дало змогу запропонувати принцип радіолокації — виявлення, розпізнавання та визначення координат різноманітних предметів з допомогою радіохвиль (рис. 1). Якщо прилад зафіксує факт відбиття, значить, він виявить об'єкт (літак). За швидкістю поширення радіохвилі (300 000 км/с) і проміжком часу між моментами випромінювання та прийому сигналу можна визначити відстань до об'єкта (його координати). Нарешті, за характером відбитого сигналу можна розпізнати, від якого об'єкта (літака, айсберга, скелі) відбилася радіохвиля.

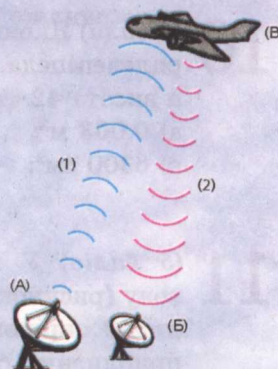


Рис. 1 — Принцип дії радара.
А — передавач; Б — приймач;
В — об'єкт (літак); (1) —
випромінювана хвиля; (2) —
відбита хвиля. У сучасних радарх
передавач і приймач зазвичай
поєднуються



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

Це цікаво

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

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

GPS — аббревіатура від англійських слів *global position system* — загальна система визначення місцепроходження

Це цікаво

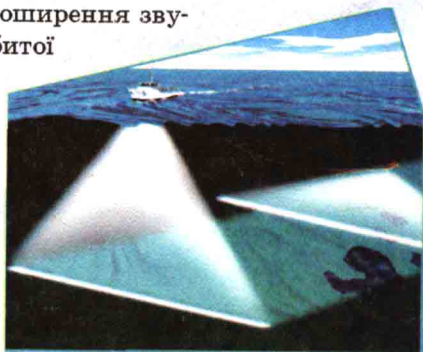
Систему GPS, так само як Інтернет, спочатку було створено на замовлення американського уряду. Сьогодні отримання послуг від цієї системи — безкоштовне.

Найближчими роками Європейський Союз планує запуснути аналогічну систему на базі власних супутників. Нова система має назву Galileo.



Гідролокатор / сонар

Принцип роботи гідролокатора подібний до принципу роботи радара (див. рис. 1), тільки він випромінює (і, відповідно, фіксує) не радіо-, а звукові хвилі. Як і у випадку радіохвиль, за швидкістю поширення звуку у воді (1500 м/с) та часом затримки приходу відбитої хвилі можна визначити відстань до об'єкта, а за напрямком приходу відбитого сигналу — напрямком на об'єкт. Уперше гідролокатор був застосований для виявлення підводних човнів під час першої світової війни (1914—1918), згодом його почали застосовувати для дослідження рельєфу морського та океанського дна, для виявлення косяків риби тощо.



GPS

GPS створено для того, щоб будь-який користувач зміг 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 у незнайомому місті.

Для забезпечення роботи GPS на орбіту запущено серію спеціальних супутників (рис. 4). Зв'язуючись за допомогою радіохвиль (1) зі спеціальними реперами — точками, координати яких на місцевості відомі з великою точністю, — супутник має можливість визначити й своє місцезнаходження над Землею. Після цього будь-який користувач із допомогою радіохвиль (2) отримує дані про власне місцезнаходження.



Рис. 4 — Схема роботи системи GPS. С — супутник; Р — репер; К — користувач приладу GPS. (1) — радіосигнал для зв'язку з репером; (2) — радіообмін із користувачем



БУДОВА РЕЧОВИНИ

2

§ 9. Фізичне тіло і речовина. Маса.	
Одиниці маси	60
Лабораторна робота № 6	65
§ 10. Густина. Одиниці густини	66
Лабораторна робота № 7	72
§ 11. Вчимося розв'язувати задачі	74
§ 12. Будова речовини. Атоми і молекули	80
§ 13. Рух молекул. Дифузія	85
Лабораторна робота № 8	90
§ 14. Взаємодія молекул	90
§ 15. Агрегатний стан речовини	94
§ 16. Залежність розмірів тіл від температури	100

§ 9. ФІЗИЧНЕ ТІЛО І РЕЧОВИНА. МАСА. ОДИНИЦІ МАСИ

■ *Навколо нас існує безліч фізичних тіл — і всі вони відрізняються одне від одного, зокрема, речовиною, з якої складаються, та масою. Що таке речовина? Що таке маса тіла? Що вона характеризує і в яких одиницях вимірюється?*

1 Розрізняємо фізичне тіло і речовину

У розділі 1 ми вже зустрічалися з такими фізичними поняттями, як «фізичне тіло» і «речовина». Пригадаймо, що будь-які предмети навколо нас називають **фізичними тілами**, а матеріал, із якого вони складаються, — **речовиною**. Фізичне тіло може складатися з однієї чи кількох речовин (рис. 2.1). Наприклад, ложки, виделки — фізичні тіла, виготовлені здебільшого зі сталі. Столові прибори можуть бути також зроблені з порцеляни або срібла. Ніж, як правило, роблять не з однієї речовини, а з двох: лезо — зі сталі, руків'я — з дерева. А от для виробництва такого фізичного тіла, як мобільний телефон, використовують десятки різних речовин.

2 Знайомимося зі штучно створеними речовинами

У давнину людина для виготовлення необхідних предметів шукала придатні речовини в природі (рис. 2.2): для наконечника стріли — твердий камінець, для теплого одягу — еластичні шкури з хутром тощо.

Штучно створені речовини з'явилися пізніше. Сьогодні переважна більшість речовин, із якими ми маємо справу щодня, штучного походження. Усі вони створені людиною з конкретною метою — для виготовлення фізичних тіл того чи іншого призначення. Як приклад штучно створених



Рис. 2.1. Фізичні тіла, виготовлені з однієї речовини (ложка, виделка) та з різних (ніж, мобільний телефон)



Рис. 2.2. Давня людина виготовляла знаряддя праці та полювання з речовин, котрі вона знаходила в навколишній природі

речовин насамперед слід назвати пластики. Кожний вид пластику створено для забезпечення якнайкращих властивостей того чи іншого фізичного тіла. Так, пластик для такого фізичного тіла, як бампер автомобіля, насамперед має бути міцним. Пластик, призначений для судків, у яких зберігають продукти в холодильнику, повинен не виділяти отруйних речовин. Пластик, що його застосовують для виготовлення окулярів і лінз, має бути прозорим (рис. 2.3). Безліч інших прикладів ви, певно, можете назвати й самі.

3 Знайомимося з масою тіла

Усі фізичні тіла довкола нас, хоч кам'яна сокира, хоч пристрій, для виготовлення якого було використано високі технології, мають деякі спільні властивості. Однією з таких властивостей є здатність тіл притягатися до інших тіл завдяки *гравітаційній взаємодії*. Мірою цієї властивості тіл слугує фізична величина, що називається *масою тіл*. Фізики кажуть, що *маса тіл* — це *міра гравітації*. Маса позначається символом *m*.

Поняття маси — одне з найскладніших у фізиці. У міру вивчення цієї науки ви будете



Рис. 2.3. Для виготовлення окулярів людина використовує різні види пластиків (штучно створених речовин)

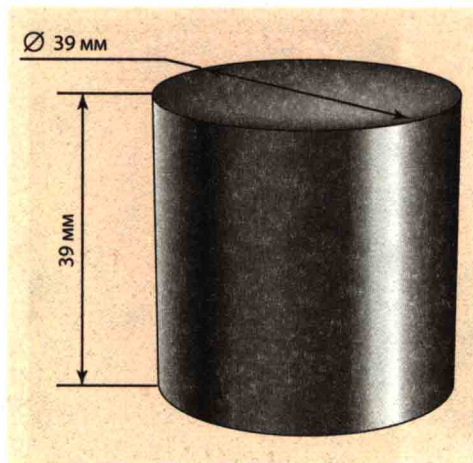


Рис. 2.4. Виміри міжнародного еталона кілограма

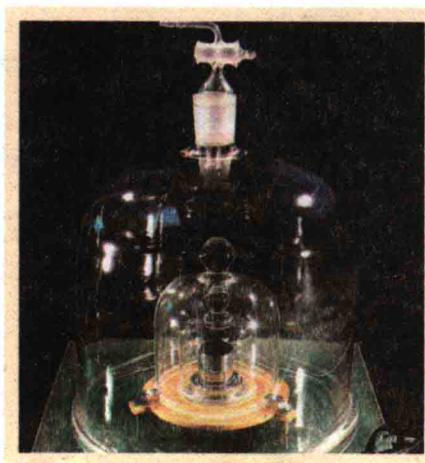


Рис. 2.5. Міжнародний еталон кілограма

дедалі більш докладно знайомитися з цією фізичною величиною. Поки що ж ми повинні запам'ятати, що *кожне фізичне тіло*: Сонце, людина, краплина роси, мікрочастинка будь-якої речовини — має масу.

4

Пригадаємо одиницю маси та один зі способів її вимірювання

Оскільки маса — фізична величина, її можна вимірювати. Щоб виміряти масу якогось тіла, його потрібно порівняти з тілом, масу якого взято за одиницю.

За одиницю маси в Міжнародній системі одиниць (СИ) узято кілограм (1 кг). Це одна з основних одиниць СИ, тому для нього існує еталон. Сучасний еталонний кілограм являє собою циліндр, виготовлений із сплаву платини й іридію (рис. 2.4). Міжнародний еталон кілограма (рис. 2.5) зберігається у Франції, неподалік від Парижа. Із цього еталона знято точні копії, що є в багатьох країнах, зокрема в Україні.

Крім кілограма, допускається використання, якщо це необхідно, інших одиниць маси, наприклад тонни (т), грама (г), міліграма (мг).

Одним зі способів вимірювання маси тіл є *зважування* (рис. 2.6), саме ним і користуються в повсякденному житті. Із цим способом



Рис. 2.6. Один зі способів визначення маси тіл — зважування

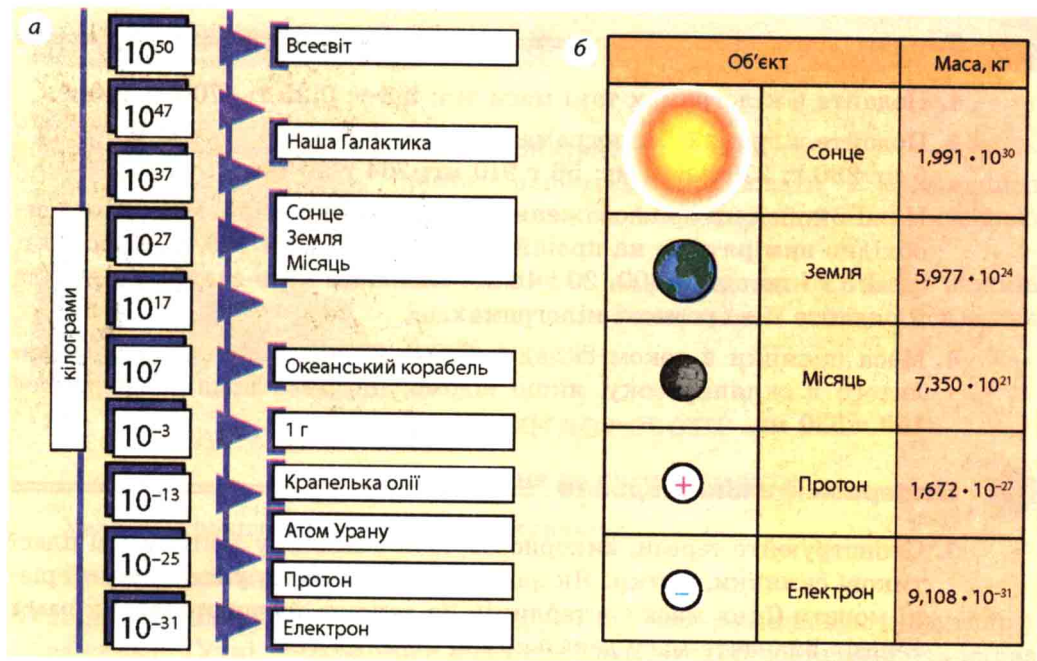


Рис. 2.7. Шкала розподілення мас у Всесвіті (а); маси деяких об'єктів фізичного світу (б)

визначення маси ви докладно ознайомитесь у ході виконання лабораторної роботи.

Однак сучасна фізика також має найсучасніші способи вимірювань, які дозволяють із великою точністю визначати і маси мікрочастинок речовини, і маси гігантських об'єктів (рис. 2.7).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Будь-які предмети навколо нас називають фізичними тілами, а матеріал, із якого вони складаються, — речовиною. Фізичне тіло може складатися з однієї чи кількох речовин.

Усі штучно створені речовини розроблені людиною з конкретною метою — для виготовлення фізичних тіл того чи іншого призначення.

Маса тіла (m) — це фізична величина, яка характеризує здатність тіл притягатися до інших тіл завдяки гравітаційній взаємодії.

Одиницею виміру маси в СІ є кілограм (1 кг).

Масу тіла можна визначити за допомогою зважування.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади різних фізичних тіл. Із яких речовин вони виготовлені?
2. Наведіть приклади штучно створених речовин. Із якою метою створено ці речовини?
3. Яку властивість тіл характеризує маса тіла?
4. У яких одиницях вимірюється маса тіла?
5. Що взято за еталон маси в СІ?
6. Як можна виміряти масу тіла?



Вправи

1. Подайте в кілограмах такі маси тіл: 5,3 т; 0,25 т; 4700 г; 150 г.
2. Подайте в грамах і кілограмах такі маси тіл:
5 кг 230 г; 270 г 840 мг; 56 г 910 мг; 764 г 20 мг.
3. На лівій шальці зрівноважених терезів лежить тіло, масу якого не обхідно виміряти, а на правій — такі гири: одна 100 г, дві по 20 г, одна 5 г і по одній 200, 20 і 10 мг. Визначте масу зважуваного тіла й подайте її в грамах і кілограмах.
4. Маса склянки з соком складає 340 г 270 мг. Обчисліть масу налитого в склянку соку, якщо відомо, що маса склянки дорівнює 150 г 530 мг.



Експериментальні завдання

1. Сконструйте терези, використовуючи учнівську лінійку, дві пластикові склянки, нитки. Як важки візьміть папір у клітинку та різні монети (їхня маса є в таблиці). За допомогою виготовлених вами терезів визначте масу декількох невеликих тіл.

Вартість монети	1 к.	2 к. (алюм.)	2 к. (неірж.)	5 к.	10 к.	25 к.	50 к.
Маса монети, г	1,5	0,64	1,8	4,3	1,7	2,9	4,2

2. Маючи терези, набір важків, піпетку, склянку з водою й порожню склянку, визначте середню масу однієї краплі води.

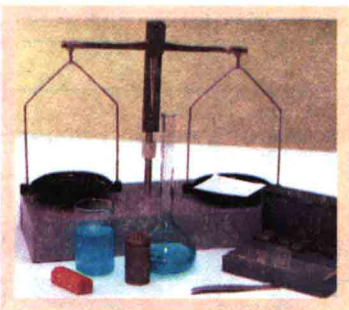
Фізика й техніка в Україні



Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля Національної академії наук України — один із відомих наукових центрів світу, діяльність якого спрямована на створення нових матеріалів в умовах дії екстремально високих технологічних параметрів — надвисоких тисків і температур. Тут досліджують фізико-хімічні процеси синтезу карбонових матеріалів, надтвердих нітридів та бор оксидів, інших сполук багатокомпонентних систем. Науково-прикладні роботи інституту застосовуються в різних галузях економіки України, таких як машинобудування, будівельна індустрія, видобуток і обробка природного каменю, геолого-розвідувальне буріння, електроніка, оптика, медицина тощо.

З 1995 р. інститут є провідною організацією Науково-технологічного алмазного концерну АЛКОН, продукція якого експортується в різні країни світу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6



Тема. Вимірювання маси тіл.

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

Обладнання: важільні терези, набір важків, два тіла для зважування, хімічна склянка, колба з водою.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

Уважно прочитайте правила зважування.

Правила зважування

1. Терези ставлять перед собою, праворуч від них розташовують футляр із важками. (Учні, у яких провідна рука ліва, футляр розташовують навпаки, ліворуч. Відповідно слід чинити й далі.)
2. До початку зважування необхідно перевірити, чи зрівноважено терези.
Нагадуємо! Для зрівноважування терезів на легшу шальку потрібно покласти смужки паперу або картону.
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 виявляється, що маса цього важка є більшою, ніж маса тіла, його ставлять назад у футляр, а на його місце кладуть важок меншої маси. Якщо маса важка недостатня для зрівноважування терезів, додають важки меншої маси доти, доки буде досягнуто рівноваги.
6. Зрівноваживши терези, підраховують загальну масу важків, що лежать на шальці, і за допомогою пінцета переносять їх назад у футляр.
7. Закінчивши зважування, перевіряють, чи всі важки покладено у футляр і чи кожний із них є на призначеному для нього місці.

Нагадуємо! На шальки терезів не можна класти мокрі, брудні, гарячі тіла, наливати рідини й без використання підкладки насипати порошки.

Експеримент

1. Чітко дотримуючись правил зважування, визначте масу:
 - а) запропонованих вам тіл;
 - б) порожньої склянки;
 - в) склянки з певною кількістю води.

2. Результати всіх зважувань занесіть до таблиці.

Зважуване тіло	Набір важків на шальці	Маса тіла, m	
		г	кг

3. Обчисліть масу води в склянці як різницю мас склянки з водою і порожньої склянки.

Аналіз результатів експерименту

Зробіть висновок, у якому не забудьте зазначити, яку фізичну величину і за допомогою якого приладу ви вимірювали.

Додаткове завдання

Визначте масу скріпки для степлера.

§ 10. ГУСТИНА. ОДИНИЦІ ГУСТИНИ

■ Ми часто вживаємо вирази «легкий, мов повітря» або «важкий, як свинець». Але чи знаєте ви, що повітря всередині, скажімо, супермаркету важить більш ніж 400 кг. А підняти таку масу не подужає й силач. Свинцеве ж грузило для вудки легко підніме навіть малюк. Отже, наведені вище вирази — неправильні? З'ясуймо, у чому тут річ.

1 Проводимо деякі вимірювання й робимо розрахунки

На рис. 2.8 ви бачите два бруски, обидва виготовлені з тієї самої речовини — свинцю, але мають різні розміри. Наше завдання — знайти відношення маси кожного бруска до його об'єму.

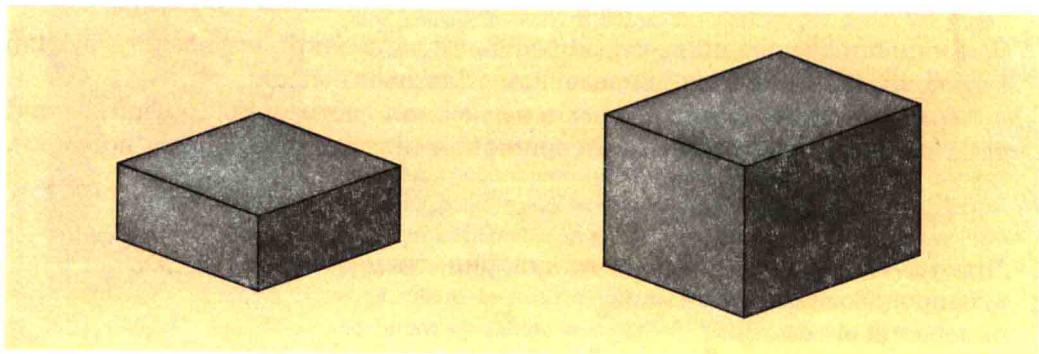


Рис. 2.8. Два свинцеві бруски, що мають різний об'єм

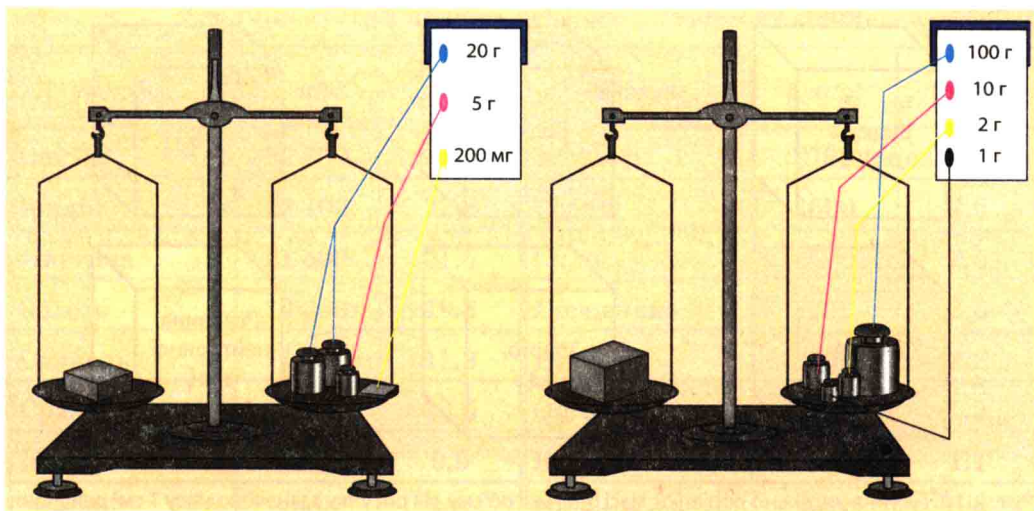


Рис. 2.9. Вимірювання мас свинцевих брусків, які мають різний об'єм

Для початку виміряйте довжину, ширину й висоту брусків і обчисліть їхні об'єми. (Якщо ви правильно виконаєте вимірювання й не помилитеся в розрахунках, то дістанете такі результати: об'єм меншого бруска дорівнює 4 см^3 , більшого бруска — 10 см^3 .)

Визначивши об'єми брусків, зважимо їх. На ліву палку терезів помістимо один із брусків, на праву — важки (рис. 2.9). Терези перебувають у рівновазі, ваше завдання — порахувати масу важків.

Нам залишилося знайти відношення маси кожного бруска до його об'єму, тобто вирахувати, чому дорівнює маса свинцю об'ємом 1 см^3 для меншого і для більшого брусків. Очевидно, що коли маса меншого бруска $45,2 \text{ г}$ і він займає об'єм 4 см^3 , то маса свинцю об'ємом 1 см^3 для цього бруска дорівнює $45,2 : 4 = 11,3 \text{ (г)}$. Виконавши аналогічні розрахунки для більшого бруска, одержимо $113 : 10 = 11,3 \text{ (г)}$. Таким чином, *відношення маси свинцевого бруска до його об'єму (маса свинцю одиничного об'єму) однакове як для більшого, так і для меншого бруска.*

Якщо тепер узяти бруски, виготовлені з іншої речовини (наприклад алюмінію), і повторити ті ж дії, то *відношення маси алюмінієвого бруска до його об'єму також не буде залежати від розмірів бруска.* Ми знову одержимо постійне число, але вже *інше*, ніж у досліді зі свинцем.

2 Даємо означення густини речовини

Фізична величина, що характеризує певну речовину й чисельно дорівнює масі речовини одиничного об'єму, називається **густиною речовини**.

Густина позначається символом ρ і обчислюється за формулою

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

де V — об'єм, зайнятий речовиною масою m .

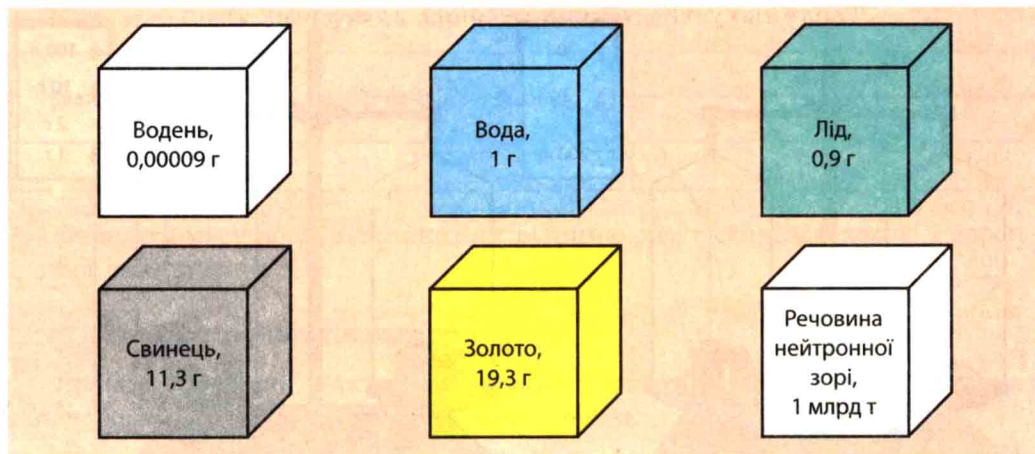


Рис. 2.10. Густина чисельно дорівнює масі одиниці об'єму. На рисунку зазначено масу 1 см³ речовини

Густина — це характеристика речовини, що не залежить від маси речовини та її об'єму. Якщо збільшити масу речовини, наприклад, у два рази, то об'єм, який вона займе, також зросте у два рази.*

Із визначення густини речовини дістанемо одиницю густини. Оскільки в СІ одиницею маси є кілограм, а одиницею об'єму — метр кубічний, то *одиницею густини в СІ буде кілограм на метр кубічний (кг/м³).*

1 кг/м³ — це густина такої однорідної речовини, маса якої в об'ємі один кубічний метр дорівнює одному кілограму.

На практиці також дуже часто застосовують одиницю густини грам на сантиметр кубічний (г/см³).

Одиниці густини кілограм на метр кубічний (кг/м³) та грам на сантиметр кубічний (г/см³) пов'язані між собою співвідношенням:

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 0,01 \text{ м}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

3 Порівнюємо густини різних речовин

Густини різних речовин і матеріалів можуть суттєво відрізнятись одна від одної (рис. 2.10). Розгляньмо кілька прикладів. Густина водню за температури 0 °С та тиску 760 мм рт. ст. становить 0,090 кг/м³ — це означає, що маса водню об'ємом 1 м³ дорівнює 0,090 кг, або 90 г. Густина свинцю становить 11 300 кг/м³. Це означає, що свинець об'ємом 1 м³ має масу 11 300 кг, або 11,3 т. Густина речовини нейтронної зорі сягає 10¹⁸ кг/м³. Маса такої речовини об'ємом 1 см³ дорівнює 1 млрд тонн. Далі в таблицях наведено густини деяких речовин.

* Густина, однак, суттєво змінюється в разі зміни температури й агрегатного стану речовини. Із причинами зміни густини речовини ви познайомитеся далі.

Таблиця густин деяких речовин у твердому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Осмій	22 500	22,5	Мармур	2700	2,7
Іридій	22 400	22,4	Граніт	2600	2,6
Платина	21 500	21,5	Скло	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Порцеляна	2300	2,3
Свинець	11 300	11,3	Бетон	2200	2,2
Срібло	10 500	10,5	Оргскло	1200	1,2
Мідь	8900	9,9	Капрон	1140	1,1
Латунь	8500	8,5	Поліетилен	940	0,9
Сталь, залізо	7800	7,8	Парафін	900	0,9
Олово	7300	7,3	Лід	900	0,9
Цинк	7100	7,1	Дуб сухий	800	0,8
Чавун	7000	7,0	Сосна суха	440	0,4
Алюміній	2700	2,7	Пробка	240	0,2

Таблиця густин деяких речовин у рідкому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Ртуть	13600	13,60	Бензол	880	0,88
Рідке олово (за $t = 409\text{ }^{\circ}\text{C}$)	6830	6,83	Рідке повітря (за $t = -194\text{ }^{\circ}\text{C}$)	860	0,86
Сульфатна кислота	1800	1,80	Нафта	800	0,80
Мед	1420	1,42	Гас	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Спирт	800	0,80
Вода чиста	1000	1,00	Ацетон	790	0,79
Олія	900	0,90	Ефір	710	0,71
Машинне мастило	900	0,90	Бензин	710	0,71

Таблиця густин деяких речовин у газоподібному стані
(за температури 0 °С та тиску 760 мм рт. ст.)

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Хлор	3,210	0,00321	Азот	1,250	0,00125
Вуглекислий газ	1,980	0,00198	Чадний газ	1,250	0,00125
Кисень	1,430	0,00143	Гелій	0,180	0,00018
Повітря	1,290	0,00129	Водень	0,090	0,00009

4

Вчимося обчислювати густину, масу та об'єм фізичного тіла

Одним зі способів визначення речовини, з якої складається фізичне тіло, є обчислення його густини, а потім порівняння одержаного значення із даними з таблиці густин. Щоб визначити густину тіла, досить виміряти масу та об'єм цього тіла, а потім знайти відношення маси тіла до його об'єму.

Наприклад, якщо брила об'ємом 3 м³ має масу 2700 кг, то очевидно, що густина речовини, з якої вона складається (тобто маса речовини об'ємом 1 м³), дорівнює:

$$\frac{2700 \text{ кг}}{3 \text{ м}^3} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

За таблицею виявляємо, що брила складається з льоду.

У наведених вище прикладах ми розглядали так звані **однорідні тіла**, тобто тіла, що не мають порожнин і складаються з однієї речовини (льодяна брила, свинцевий та алюмінієвий бруски). У таких випадках густина тіла дорівнює густині речовини, з якої воно складається (густина льодяної брили дорівнює густині льоду).

Якщо в тілі є порожнини або воно складається з різних речовин (наприклад, корабель, футбольний м'яч, людина), то говорять про *середню густину тіла*, що також обчислюється за формулою

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

де V — об'єм, зайнятий речовиною масою m .

$$\rho = \frac{m}{V} \begin{cases} V = \frac{m}{\rho} \\ m = \rho V \end{cases}$$

Середня густина тіла людини, наприклад, становить 1036 кг/м³.

Знаючи густину речовини, з якої складається тіло (або середню густину тіла), і об'єм тіла, можна визначити масу даного тіла без зважування. Справді, якщо $\rho = \frac{m}{V}$, то $m = \rho V$. Відповідно, знаючи густину й масу тіла, можна знайти його об'єм: $V = \frac{m}{\rho}$.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізична величина, що характеризує певну речовину й чисельно дорівнює масі речовини одиничного об'єму, називається густиною речовини.

Густина речовини та густину тіла можна розрахувати за формулою

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

У СІ густина вимірюється в кілограмах на метр кубічний (кг/м³). Часто також використовують одиницю густини грам на сантиметр кубічний (г/см³). Ці одиниці пов'язані між собою співвідношенням:

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

Знаючи масу тіла та його густину, можна знайти об'єм тіла: $V = \frac{m}{\rho}$. Відповідно, за відомими об'ємом тіла та його густиною можна знайти масу тіла: $m = \rho V$.



Контрольні запитання

1. Чи залежить відношення маси речовини до об'єму, який займає ця речовина, від її маси? від об'єму? від роду речовини?
2. Що називають густиною речовини?
3. Густина платини дорівнює 21 500 кг/м³. Що це означає?
4. Що потрібно зробити, щоб визначити густину речовини?
5. Які одиниці густини ви знаєте?
6. Як подати густину в грамах на сантиметр кубічний (г/см³), якщо її дано в кілограмах на метр кубічний (кг/м³)?
7. Як обчислити масу тіла за його густиною та об'ємом?
8. Як визначити об'єм тіла, знаючи його густину та масу?

Фізика та техніка в Україні



Донецький фізико-технічний інститут НАН України

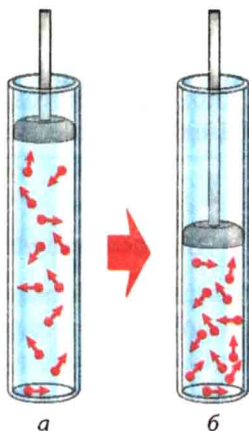
У 60-ті роки минулого століття у Донбасі — важливому промисловому регіоні України — виникла нагальна потреба в організації наукових досліджень, максимально зорієнтованих на задоволення потреб регіону. Для цього в 1965 році й було створено Донецький науковий центр Академії наук УРСР, одним із ключових інститутів якого став Донецький фізико-технічний інститут (ДонФТІ).

Результати досліджень працівників інституту здобули визнання наукової громадськості України та інших держав. ДонФТІ підтримує широкі науково-виробничі зв'язки з десятками зарубіжних інститутів і промислових підприємств Швейцарії, США, Німеччини, Іспанії.

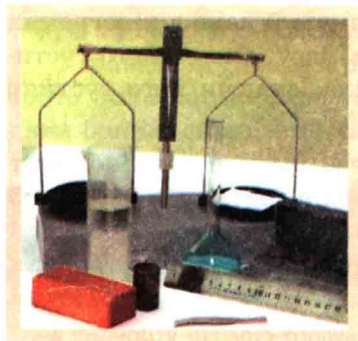


Вправи

1. Знайдіть у таблиці значення густини повітря та густини свинцю. Що вони означають? Які величини ми насправді порівнюємо, коли говоримо: «легкий, мов повітря», «важкий, як свинець»?
2. У якому випадку маси тіл однакового об'єму будуть рівними?
3. Одна з двох однакових посудин наповнена медом, друга — олією. Маса якої рідини більша і в скільки разів?
4. Два кубики — з оргскла та дуба — мають однакову масу. Об'єм якого кубика є меншим і в скільки разів?
5. У циліндрі під поршнем міститься кисень (рисунок а). Поршень починають просувати в циліндр (рисунок б). Як при цьому змінюються: а) маса газу; б) об'єм газу; в) густина газу?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7



Тема. Визначення густини твердого тіла й рідини.

Мета: визначити густину твердих тіл і рідини.

Обладнання: терези з важками; мірний циліндр; лінійка; досліджувані тверді тіла (дерев'яний брусок і металевий циліндр із ниткою); склянка з досліджуваною рідиною.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

1. Перш ніж розпочинати вимірювання, згадайте:
 - а) формулу, за якою обчислюють густину;
 - б) за допомогою яких приладів можна визначити об'єм твердого тіла;
 - в) як визначають ціну поділки шкали вимірювального приладу;
 - г) як правильно знімати показання мірного циліндра;
 - д) правила роботи з важільними терезами;
 - е) яких запобіжних заходів необхідно дотримуватися під час роботи з мірним циліндром.
2. Визначте й запишіть ціну поділки шкали лінійки та ціну поділки шкали мірного циліндра.

Експеримент

Результати вимірювань і обчислень слід одразу заносити до таблиці!

1. Визначте об'єм бруска за допомогою лінійки.
2. Виміряйте масу бруска за допомогою терезів.
3. Обчисліть густину речовини, з якої виготовлено брусок.
4. Визначте об'єм металевого тіла за допомогою мірного циліндра.
5. Виміряйте масу металевого тіла за допомогою терезів.
6. Обчисліть густину металу, з якого виготовлено тіло.
7. Виміряйте масу склянки з досліджуваною рідиною.
8. Перелийте рідину в мірний циліндр і визначте її об'єм.
9. Зважте порожню склянку та обчисліть масу досліджуваної рідини.
10. Обчисліть густину досліджуваної рідини.

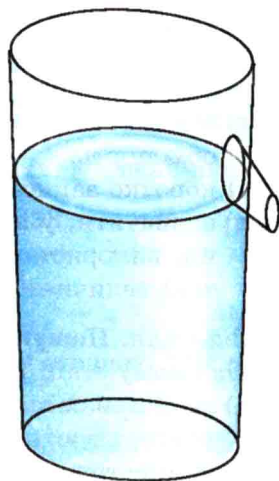
Досліджуване тіло або рідина	Маса m , г	Об'єм V , см^3	Густина ρ		Речовина
			г/см^3	кг/м^3	

Аналіз результатів експерименту

1. Користуючись таблицями густин, визначте назву досліджуваної рідини, а також речовини, з яких виготовлені досліджувані тіла.
2. Зробіть висновок, у якому не забудьте зазначити чинники, що могли вплинути на точність результатів.

Додаткове завдання

1. Визначте об'єм власного тіла, знаючи його середню густину, зазначену в § 10.
2. Запропонуйте способи — теоретичний та експериментальний, — скориставшись якими, можна знайти масу води, що вилється з відливної посудини (див. рисунок), якщо в неї повільно занурити пластилиновий кубик зі стороною 3 см.



§ 11. ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

■ *Для чого потрібно вміти розв'язувати задачі з фізики? Що треба зробити для того, щоб навчитися їх розв'язувати? Як саме розв'язувати задачі? Сьогодні ми тільки починаємо відповідати на ці питання, вчимося розв'язувати найпростіші задачі, але мине час...*

1

Переконуємося в необхідності розв'язувати задачі з фізики

Для чого потрібно розв'язувати задачі з фізики? Спробуймо відповісти на це питання разом. Із цією метою звернімося до найпростішої конкретної задачі, з якою ви можете зустрітись у реальному житті.

Припустимо, що вам потрібно купити 3 кг олії. Ви маєте тільки пластиковий балон місткістю 3 літри. Чи поміститься в нього потрібна кількість олії?

Погодьтеся, багато хто з нас стикається з подібними задачами в житті. Тому нам потрібно вміти розв'язувати фізичні задачі насамперед для того, щоб, використовуючи знання з фізики, відповідати на практичні питання.

Очевидно, що, не знаючи необхідних фізичних величин, формул, фізичних законів, ви не зможете відповісти на запитання, поставлені в задачі. Таким чином, тільки добре знання фізичних законів, формул, умов перебігу фізичних процесів, описаних у задачах, дає змогу успішно розв'язувати задачі з фізики. І навпаки: нам необхідно розв'язувати задачі з фізики також для того, щоб краще знати й розуміти фізику загалом.

2

Знайомимося з основними етапами розв'язування фізичних задач

У ході розв'язування більшої частини фізичних задач можна виділити кілька етапів.

1-й етап. Аналіз фізичної проблеми

На цьому етапі вам необхідно:

- уважно прочитати умову задачі;
- виявити, які величини вже відомі, які потрібно знайти, значення яких величин можна відшукати в довідковій літературі;
- виконати пояснювальний рисунок (схему, графік), якщо в цьому є необхідність;
- коротко записати умову задачі;
- визначити, у яких одиницях вона буде розв'язуватися (якщо величини, використані в задачі, подано не в одиницях СІ або з префіксами, такі величини переважно переводять в одиниці СІ без префіксів).

2-й етап. Пошук математичної моделі

На цьому етапі необхідно:

- записати загальні рівняння, що пов'язують фізичні величини, які характеризують розглянуте в задачі фізичне явище;
- конкретизувати ці рівняння для даної задачі.

3-й етап. Розв'язання й аналіз результатів

На цьому етапі слід:

- розв'язати рівняння відносно шуканої величини;
- перевірити одиницю шуканої величини;
- виконати необхідні обчислення;
- проаналізувати результати.

3 Простежуємо основні етапи розв'язання

Розв'яжемо задачу, запропоновану на початку параграфа, простеживши основні етапи її розв'язання.

Аналіз фізичної проблеми. З'ясувати, чи помістяться 3 кг олії в пластиковий балон місткістю 3 л, ми можемо двома способами:

- визначити, скільки кілограмів олії вміщується в балон, і порівняти результат із масою необхідної нам олії;
- визначити, який об'єм займає олія масою 3 кг, і порівняти результат із місткістю балона.

При цьому в будь-якому разі нам необхідно знати густину олії — це значення можна знайти в таблиці. Перед цим слід визначитись, у яких одиницях краще розв'язувати задачу. Цю задачу краще розв'язувати в одиницях СІ.

Завершивши аналіз, ми можемо записати коротку умову задачі.

(Зрозуміло, що надалі, записуючи розв'язання задачі, частину розмірковувань ви проводитимете усно.)

Коротка умова задачі

Дано:

$$\rho = 900 \text{ кг/м}^3$$

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$V_6 = 3 \text{ л} = 0,003 \text{ м}^3$$

$$V - ?$$

Пошук математичної моделі

Скористаємося визначенням густини:

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

Розв'язання й аналіз результатів

Розв'яжемо одержане рівняння відносно невідомої величини:

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

Перевіримо одиницю шуканої величини:

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

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{V\} = \frac{3}{900} = 0,0033.$$

$$V = 0,0033 \text{ м}^3.$$

Проаналізуємо результат:

місткість балона ($V_6 = 0,003 \text{ м}^3$) є меншою, ніж об'єм ($V = 0,0033 \text{ м}^3$), який займає олія масою 3 кг.

Відповідь: олія в балон не поміститься.

4 Розв'язуємо задачі

Задача № 1. Кубик із ребром, що дорівнює 2 см, має масу 20 г. Із якого матеріалу виготовлений кубик?

Аналіз фізичної проблеми. Щоб відповісти на поставлене запитання, необхідно визначити густину речовини, з якої виготовлений кубик, а потім, скориставшись таблицею густин, виявити, якій речовині відповідає знайдене значення густини. Цю задачу можна розв'язувати в поданих одиницях.

Дано:

$$a = 2 \text{ см}$$

$$m = 20 \text{ г}$$

ρ — ?

Пошук математичної моделі

За визначенням густини:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$$

Із математики відомо, що об'єм куба можна обчислити за формулою $V = a^3$.

(2)

Розв'язання й аналіз результатів

Підставивши вираз (2) у вираз (1), одержимо формулу для розрахунку густини матеріалу, з якого виготовлений кубик:

$$\rho = \frac{m}{a^3}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{см} \cdot \text{см}} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{\rho\} = \frac{20}{8} = 2,5,$$

$$\rho = 2,5 \text{ г/см}^3 = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Проаналізуємо результат: скориставшись таблицею густин, виявимо, якій речовині відповідає одержане значення густини; густину 2500 кг/м^3 має скло.

Відповідь: кубик може бути виготовлений зі скла.

Задача № 2. Свинцева куля об'ємом 60 см^3 має масу $0,565 \text{ кг}$. Визначте, суцільна ця куля чи порожниста. Якщо куля порожниста, то визначте об'єм порожнини.

Аналіз фізичної проблеми. Виконуємо пояснювальний рисунок.

Якщо $V_{\text{св}} < V_{\text{к}}$, то куля порожниста. Зрозуміло, що об'єм порожнини $V_{\text{пор}} = V_{\text{к}} - V_{\text{св}}$.

Щоб знайти об'єм порожнини, з'ясуємо, який об'єм займає в кулі свинець. Густину свинцю знайдемо в таблиці. У цій задачі



слід масу подати в грамах, об'єм — у сантиметрах кубічних, густину, відповідно, — у грамах на сантиметр кубічний.

Дано:
 $V_k = 60 \text{ см}^3$
 $m_{\text{св}} = 0,565 \text{ кг} = 565 \text{ г}$
 $\rho_{\text{св}} = 11,3 \text{ г/см}^3$

$V_{\text{пор}} = ?$

Пошук математичної моделі

За визначенням густини: $\rho_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{V_{\text{св}}}$.

Розв'язання й аналіз результатів

Із формули для визначення густини знайдемо формулу для визначення об'єму: $V_{\text{св}} = \frac{m_{\text{св}}}{\rho_{\text{св}}}$.

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[V_{\text{св}}] = \text{г} : \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} = \text{см}^3.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{V_{\text{св}}\} = \frac{570}{11,4} = 50, \quad V_{\text{св}} = 50 \text{ см}^3.$$

Проаналізуємо результат: оскільки об'єм свинцю є меншим, ніж об'єм кулі, то куля порожниста.

$$V_{\text{пор}} = 60 \text{ см}^3 - 50 \text{ см}^3 = 10 \text{ см}^3.$$

Відповідь: куля має порожнину об'ємом 10 см^3 .

Задача № 3. Каністру, яка вміщує 20 кг води, наповнили бензином. Визначте масу бензину в каністрі.

Аналіз фізичної проблеми. Для визначення маси бензину в каністрі нам необхідно знайти густину бензину й місткість каністри, що дорівнює об'єму води. Об'єм води визначимо за її масою та густиною. Густину води та густину бензину знайдемо в таблиці. Задачу краще розв'язувати в одиницях СІ.

Дано:
 $m_{\text{в}} = 20 \text{ кг}$
 $V_{\text{в}} = V_{\text{б}}$
 $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$
 $\rho_{\text{б}} = 710 \text{ кг/м}^3$

$m_{\text{б}} = ?$

Пошук математичної моделі

За визначенням густини:

$$\rho_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{V_{\text{в}}}, \text{ звідки } V_{\text{в}} = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}, \quad (1)$$

$$\text{а } \rho_{\text{б}} = \frac{m_{\text{б}}}{V_{\text{б}}}, \text{ звідки } m_{\text{б}} = \rho_{\text{б}} \cdot V_{\text{б}}. \quad (2)$$

Розв'язання й аналіз результатів

Оскільки $V_{\text{в}} = V_{\text{б}}$, підставивши формулу (1) у формулу (2), дістанемо:

$$m_{\text{б}} = \rho_{\text{б}} \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{б}} \cdot m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[m_{\text{б}}] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \left(\text{кг} : \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}} = \text{кг}.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{m\} = \frac{710 \cdot 20}{1000} = 14,2, \quad m = 14,2 \text{ кг}.$$

Проаналізуємо результат: отримане значення маси бензину в каністрі є цілком реальним.

Відповідь: каністра містить бензин масою $14,2 \text{ кг}$.

Задача № 4. Скільки залізничних цистерн потрібно для перевезення 1080 т нафти, якщо об'єм кожної цистерни 25 м³?

Аналіз фізичної проблеми. Щоб знайти кількість цистерн, необхідно обчислити загальний об'єм нафти, яку потрібно перевезти. Загальний об'єм нафти визначимо за її масою та густиною. Поділивши загальний об'єм нафти на місткість кожної цистерни, ми легко знайдемо кількість цистерн. Густина нафти знайдемо в таблиці. Задачу краще розв'язувати в одиницях СІ.

Дано:

$$m = 1080 \text{ т} = 1\,080\,000 \text{ кг}$$

$$\rho = 800 \text{ кг/м}^3$$

$$V_0 = 25 \text{ м}^3$$

$N = ?$

Пошук математичної моделі

Кількість цистерн N розрахуємо за формулою

$$N = \frac{V}{V_0}, \quad (1)$$

де V — загальний об'єм нафти, V_0 — місткість цистерни. За визначенням густини: $\rho = \frac{m}{V}$.

$$\text{Звідси } V = \frac{m}{\rho}. \quad (2)$$

Розв'язання й аналіз результатів

Підставивши формулу (2) у формулу (1), знайдемо загальну кількість цистерн:

$$N = \frac{m}{\rho} : V_0 = \frac{m}{\rho \cdot V_0}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[N] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{м}^3} = 1.$$

Знайдемо числове значення:

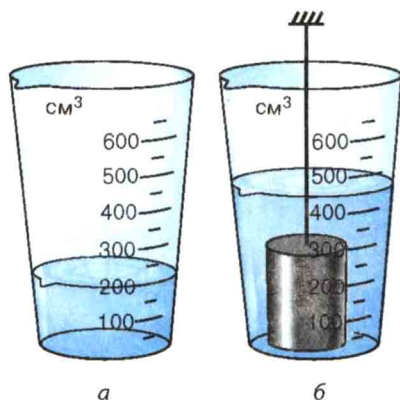
$$\{N\} = \frac{1\,080\,000}{800 \cdot 25} = 54, \quad N = 54.$$

Проаналізуємо результат: кількість цистерн, одержана нами в результаті розрахунків, є цілком реальною.

Відповідь: потрібні 54 цистерни.

Задача № 5. У мензурку з водою (рисунок а) занурили металевий циліндр масою 675 г (рисунок б). Визначте густину речовини, з якої виготовлено циліндр. Що це за речовина?

Аналіз фізичної проблеми. Для визначення густини речовини, з якої виготовлено циліндр, нам необхідно знайти його об'єм (маса циліндра відома з умови задачі). Об'єм обчислимо як різницю показань



мензурки до і після занурення циліндра. Задачу краще розв'язувати в поданих одиницях.

Дано:

$$V_1 = 200 \text{ см}^3$$

$$V_2 = 450 \text{ см}^3$$

$$m = 675 \text{ г}$$

Пошук математичної моделі

За визначенням густини $\rho = \frac{m}{V}$. (1)

Об'єм циліндра обчислимо за формулою: $V = V_2 - V_1$, (2)
де V_1 і V_2 — показання мензурки до і після занурення циліндра відповідно.

Розв'язання й аналіз результатів

Підставивши вираз (2) у вираз (1), дістанемо формулу для обчислення густини речовини:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3 - \text{см}^3} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Знайдемо числове значення:

$$\{\rho\} = \frac{675}{250} = 2,7, \quad \rho = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Проаналізуємо результат: скориставшись таблицею густин, виявимо, якій речовині відповідає одержане значення густини; густину 2700 кг/м^3 має алюміній.

Відповідь: густина речовини 2700 кг/м^3 , це алюміній.

ρ — ?



Вправи

- З якого матеріалу виготовлений дитячий кубик, об'єм якого дорівнює 250 см^3 , а маса — 110 г ?
- В автомобільний бак для пального вміщується 71 кг бензину. Визначте місткість баку. Подайте отриману відповідь у літрах.
- Щоб визначити місткість посудини, її зважили, потім повністю заповнили водою та знову зважили. Визначте місткість посудини, якщо маса порожньої посудини дорівнює $1,2 \text{ кг}$, а маса посудини з водою — $11,2 \text{ кг}$.
- Маса срібної фігурки становить 707 г , а її об'єм $0,7 \text{ дм}^3$. Визначте, суцільна це фігурка чи порожниста. Відповідь обґрунтуйте.
- Що більше — маса тіла вчителя фізкультури чи маса повітря в спортзалі, якщо маса тіла вчителя становить 80 кг , а розміри спортзалу $20 \times 10 \times 5 \text{ м}$? Об'ємом, який займає в спортзалі спортивний інвентар, знехтувати.
- Алюмінієвий циліндр масою $1,35 \text{ кг}$ повністю занурили в посудину, до країв наповнену спиртом. Якою є маса спирту, що вилився?
- Об'єм залізничної цистерни дорівнює 30 м^3 . Скільки тонн нафти привезе потяг із 50 цистерн?



Експериментальні завдання

1. Визначте густину сирої картоплі. Скористайтесь обладнанням, що зображене на рисунку. Можете визначити також густину інших овочів, які є на вашій кухні. Пам'ятайте: щоб правильно визначити об'єм тіла, його слід занурити у воду повністю.
2. Маючи посудину, до країв наповнену водою, терези та важки, визначте густину невеликого металевого тіла. З якого металу виготовлене це тіло?
3. За легендою, давньогрецький учений Архімед допоміг викрити шахрайство ювеліра. На замовлення царя Сиракуз Гієрона ювелір виготовив золоту корону, призначену стати дарунком безсмертним богам. Архімед узяв зливку золота, який за масою дорівнював короні, наповнив водою до країв посудину і... Як ви гадаєте, що зробив Архімед? Змодельюйте задачу Архімеда на досліді.



§ 12. БУДОВА РЕЧОВИНИ. АТОМИ І МОЛЕКУЛИ

■ *Із чого складаються речовини? Наскільки малими є найменші частинки речовини? Чи існує відмінність між молекулами тієї самої речовини? Чи можна порахувати молекули в головці шпильки? Ці та інші питання ми обговоримо детальніше й разом знайдемо відповіді.*

1

Розрізняємо атом і молекулу

З попереднього курсу «Природознавство» ви вже знаєте, що всі речовини складаються з дрібних частинок — **молекул** та **атомів**. Ви також знаєте, що первинні складові речовини — атоми — мають спеціальні назви та символи для позначення кожного з видів атомів. Наприклад: Гідроген (H), Меркурій (Hg), Оксиген (O), Карбон (C). Атоми різних видів відрізняються один від одного своїми *хімічними властивостями* та *масою*. З фізичною величиною під назвою «маса» ви вже познайомилися в нашому курсі. Що таке «хімічні властивості», ви дізнаєтеся з курсу хімії.

Станом на 2005 рік науці відомі тільки 116 різних видів атомів. «Не може бути, — заперечите ви. — Як це, тільки 116? Кожний із нас із легкістю перелічить 200—300, а може, і більше різних речовин». Так, дійсно, у світі існують мільйони різних речовин. Як же поєднати існування тільки 116 видів атомів з мільйонами різних речовин? Річ у тім, що речовини здебільшого складаються з молекул.

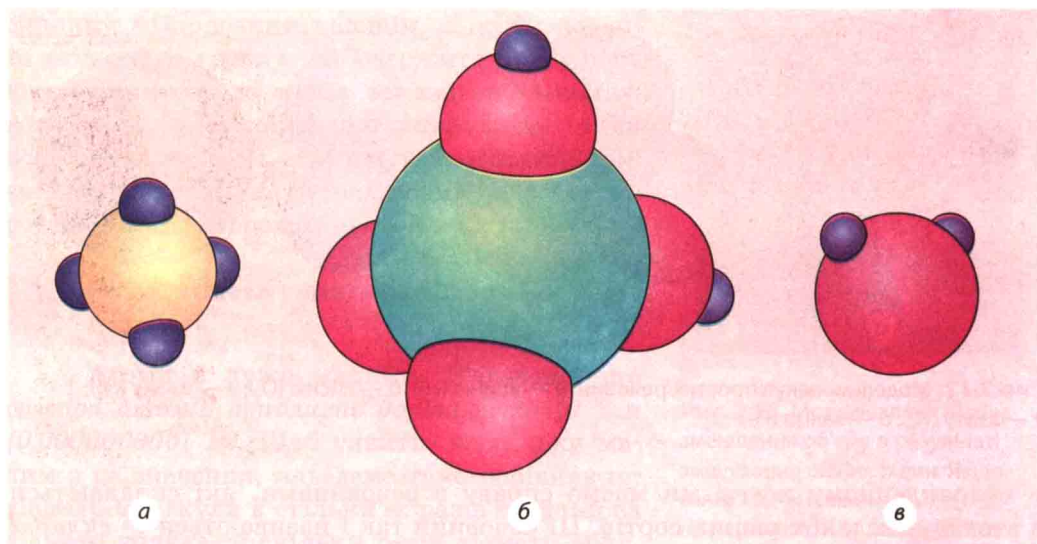


Рис. 2.11. Моделі молекул деяких речовин: *a* — метану (CH_4); *b* — сірчаної кислоти (H_2SO_4); *v* — води (H_2O). (Сині кульки — атоми Гідрогену, червоні — Оксигену, зелені — Сульфуру, жовті — Карбону.)

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

Ситуація з різними речовинами дуже подібна до складання тисяч різних слів із «тільки» 33-х літер абетки. У цьому порівнянні кожна літера — це, так би мовити, окремий атом, а кожне слово відповідає певній молекулі, тобто певній речовині.

На рис. 2.11, *a* ви бачите схематичне зображення молекули метану, яка складається з п'яти атомів: чотирьох атомів Гідрогену та одного атома Карбону. Користуючись нашою аналогією — це слово з п'яти літер. На рис. 2.11, *b* наведено схему більш складної молекули сірчаної кислоти, яка складається з семи атомів. Аналог цієї молекули — слово з семи літер. З наведених прикладів зрозуміло, що кожна нова молекула (нова комбінація атомів) відповідає новій речовині.

2 Знайомимося з простими та складними речовинами

Продовжимо нашу аналогію речовин зі словами. Ви знаєте, що поряд зі словами, які складаються з декількох різних літер, ми іноді вимовляємо і слова з використанням тільки однієї літери (наприклад, «я», «аа...», «ууу...»). Так само і з речовинами. Декілька з них складаються тільки з одного виду атомів (одного хімічного елемента) і тому називаються *простими* (див. рис. 2.12). Прикладами таких речовин є вуглець, залізо та ін.

Цілком очевидно, що слів, які складаються з декількох літер, набагато більше, ніж слів з однієї літери. Так само і з речовинами. Найчастіше

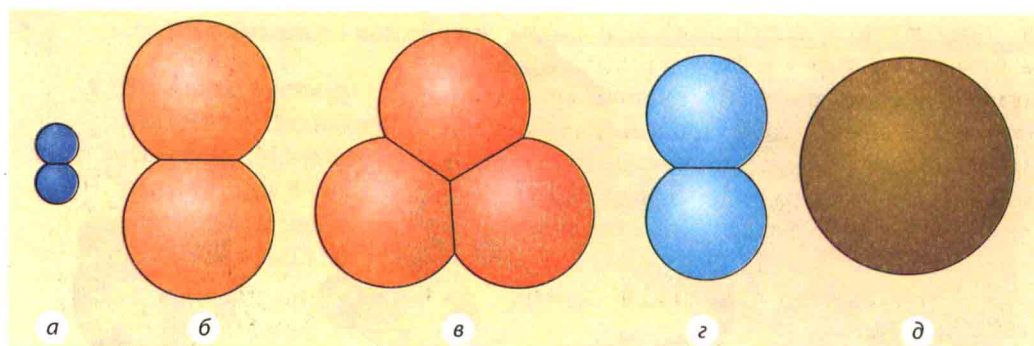


Рис. 2.12. Моделі молекул простих речовин: а — водню (H_2); б — кисню (O_2); в — озону (O_3); з — азоту (N_2); д — заліза (Fe)

в повсякденному житті ми маємо справу з речовинами, які складаються з атомів декількох різних сортів. Ці речовини так і називаються — *складні* (див. рис. 2.11).

Нагадаємо, що в науковій літературі, щоб уникнути плутанини, застосовують різні назви для простих речовин і для хімічних елементів, із яких ці речовини складаються. Приклади назв простих речовин та відповідних хімічних елементів наведено в таблиці.

Назва хімічного елемента	Символ хімічного елемента	Назва відповідної простої речовини
Аурум	Au	Золото
Гідроген	H	Водень
Карбон	C	Вуглець
Купрум	Cu	Мідь
Нітроген	N	Азот
Оксиген	O	Кисень
Силіцій	Si	Кремній
Ферум	Fe	Залізо

3

Переконуємося в наявності проміжків між молекулами

Після того як ми познайомилися з найменшими частинками речовини, пригадаймо деякі відомості про будову речовини. У результаті досліджень учені з'ясували, що *між молекулами (атомами) існують проміжки*. Цей висновок учених можна легко підтвердити досить простим дослідом. Якщо змішати 100 мл води і 100 мл спирту, то об'єм суміші буде меншим, ніж 200 мл. Після змішування двох рідин молекули води потрапляють у проміжки між молекулами спирту. Наведений дослід можна змодельовувати, наприклад, за допомогою пшона і гороху (рис. 2.13). Наповніть

склянку до половини пшоном, а потім додайте стільки ж гороху. Ви одержите двошарову композицію та до краю заповнену склянку. Акуратно перемішайте цю композицію, і ви побачите, що об'єм суміші буде меншим, ніж вихідний, — частина пшона розмістилась у порожнинах між горохом.

4 Намагаємось уявити собі розміри атомів

Атоми є дуже малими. З'ясовано, що розміри атомів приблизно дорівнюють 10^{-10} м (0,0000000001 м). Щоб уявити, наскільки малим є це значення, наведемо таке порівняння: діаметр молекули в стільки ж разів менший за діаметр яблука, у скільки разів діаметр яблука менший, ніж діаметр Землі.

Про розміри атомів також можна судити з прикладу. Якби всі люди нашої планети проводили все життя, займаючись тільки лічбою, усі разом ми змогли б полічити атоми тільки в головці однієї малої шпильки.

5 Пригадуємо будову атома

Досліди показали, що атом має складну структуру. Він являє собою позитивно заряджене ядро, оточене хмарою легких частинок — електронів, які мають негативний заряд (рис. 2.14). Маса ядра незначно

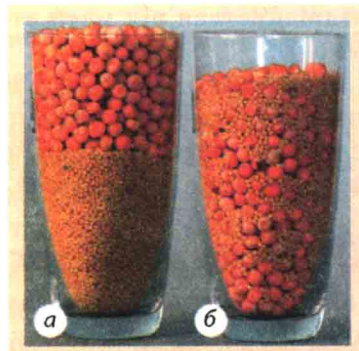


Рис. 2.13. Моделювання явища зменшення об'єму в результаті змішування різних рідин. Якщо взяти горох і пшоно (а) і ретельно перемішати їх, побачимо, що об'єм суміші менший за суму об'ємів її компонентів (б). Це можна пояснити тим, що крупинки пшона потрапили в проміжки між горошинами

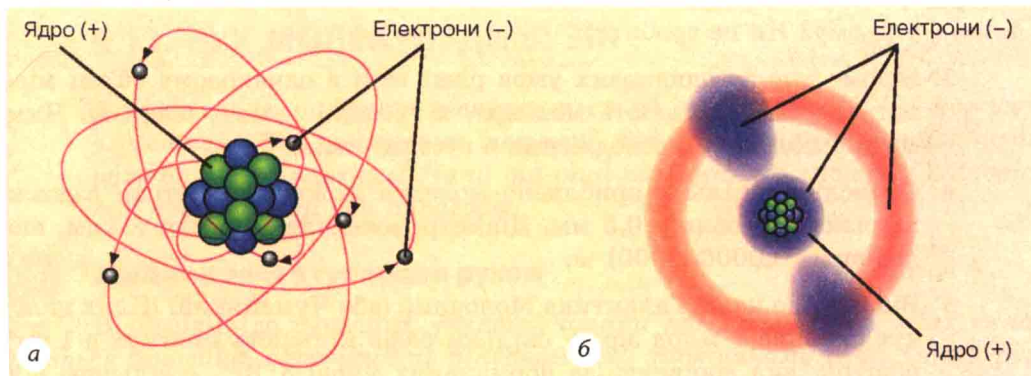


Рис. 2.14. Моделі атома: а — планетарна модель: у центрі атома — ядро, навколо ядра обертаються електрони; б — сучасна: електрони нібито «розмазані» по орбіталях — частинах простору, що оточують ядро. Для наочності на рисунку відстань від ядра до електронів показано у 2—3 рази більшою, ніж діаметр ядра. Насправді ця відстань перевищує розмір ядра в 100 000 разів

відрізняється від маси атома. Маса ж електронів порівняно з ядром дуже мала.

Звичайно, наведені в цьому параграфі дані — це тільки незначна частина сучасних відомостей про атоми й молекули. З деякими іншими їхніми властивостями ви познайомитесь у наступних параграфах, про децю довідаєтесь у старших класах.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Усі речовини складаються з дрібних частинок — молекул або атомів. Між молекулами (атомами) існують проміжки.

Молекулою називається найменша частинка речовини, що має її основні хімічні властивості та складається з атомів. Атом має складну структуру і являє собою позитивно заряджене ядро, оточене хмарою легких частинок — електронів, які мають негативний заряд.



Контрольні запитання

1. Скільки різних видів атомів відомі науці? Чим вони відрізняються один від одного?
2. Які речовини називають простими? Наведіть приклади.
3. Наведіть приклади деяких складних речовин. Із яких атомів вони складаються?
4. Як можна довести, що між частинками речовини існують проміжки?
5. Як довести, що атоми й молекули є дуже малими?
6. У перекладі з грецької «атом» означає «неподільний». Чи так це?



Вправи

1. Чи можемо ми стверджувати, що об'єм речовини в посудині дорівнює сумі об'ємів молекул, із яких ця речовина складається?
2. Чи можемо ми змінити об'єм тіла, не змінюючи кількості молекул у ньому? Як це зробити?
3. Відомо, що за однакових умов різні гази в однаковому об'ємі містять ту саму кількість молекул, а густини газів є різними. Чим можна пояснити розходження в густині газів?
4. Обчисліть, скільки приблизно молекул можна розмістити вздовж відрізка завдовжки 0,5 мм. Діаметр молекули вважати таким, що дорівнює 0,0000000001 м.
5. Відомо, що наша Галактика Молочний (або Чумацький) Шлях налічує близько 9 млрд зір. У скільки разів кількість молекул в 1 см³ повітря, яка дорівнює (за нормальних умов) $3 \cdot 10^{10}$, є більшою від зазначеної кількості зір?
6. Площа плівки, яку утворює на поверхні води крапля олії об'ємом 0,005 мм³, не може перевищувати 50 см². Який висновок щодо розміру молекул олії випливає з цього факту?



Експериментальні завдання

1. Розчиніть дрібку фарби у воді, налитій у прозору посудину. Відлийте трохи забарвленої води в іншу посудину та долийте чистої води. Порівняйте забарвлення розчину в першій і другій посудинах. Аналогічно розбавте розчин іще кілька разів. Порівняйте забарвлення останнього розчину з чистою водою. Поясніть результат.
2. Зробіть із кольорового пластиліну моделі двох молекул води. Складіть із цих моделей моделі молекул водню та кисню.

Фізика та техніка в Україні



Георгій В'ячеславович Курдюмов (1902—1996) — видатний металофізик, професор, академік української та російської академії наук. Протягом довгого часу він працював у Дніпропетровську та Києві, де створив сучасні наукові школи з дослідження фізики металів та сплавів.

Найбільш важливими результатами його наукової діяльності з практичної точки зору є створення наукових засад термічної обробки металів — засобів суттєвого зміцнення сталей — та створення нових матеріалів з унікальними властивостями.

Академік Курдюмов також відомий своїми фундаментальними дослідженнями кристалічної структури сталей і відкриттям так званого «ефекту Курдюмова». Президія НАН України запровадила премію ім. Г. В. Курдюмова.

§ 13. РУХ МОЛЕКУЛ. ДИФУЗІЯ

■ Чому запах парфумів поширюється по всій кімнаті? Чи можуть «зростися» два шматочки металу? Від чого залежить швидкість руху атомів і молекул? На ці та інші питання ви зможете відповісти, прочитавши цей параграф.

1 Знайомимося з тепловим рухом

Відповідно до сучасних уявлень, атоми та молекули, з яких складається речовина, перебувають у невинному хаотичному русі. Такий рух називається **тепловим**.

Тепловий рух неможливо побачити неозброєним оком, адже розміри молекул дуже малі.

Однак існує багато фізичних явищ, пояснити які можна тільки з опорою на той факт, що молекули постійно рухаються.



Рис. 2.15. Скориставшись лішкою з довгим носиком, можна акуратно налити розчин мідного купоросу на дно склянки з водою

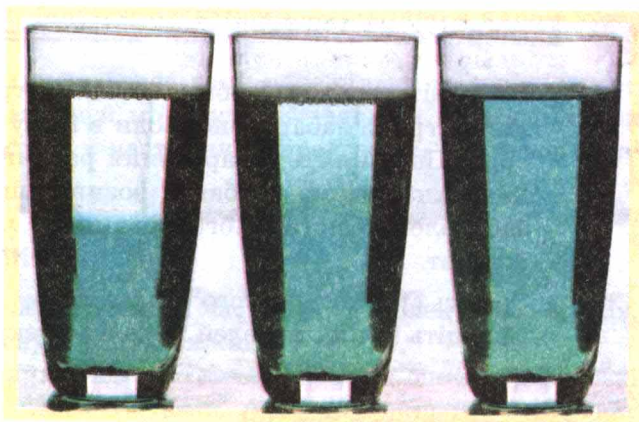


Рис. 2.16. Спостереження явища дифузії в рідинах: у результаті дифузії різка межа між розчином мідного купоросу та водою з часом зникає

2 Пригадаємо означення дифузії

Безперечним *доказом руху молекул* слугує фізичне явище, добре відоме вам із курсу природознавства, — *дифузія* (від латин. *diffusio* — поширення, розтікання).

Нагадаємо, що *дифузією* називають *взаємне проникнення дотичних речовин одна в одну, що відбувається в результаті теплового руху молекул*.

3 Спостерігаємо дифузію в газах і рідинах

Згадайте, що відбувається, коли десь у кімнаті розлити пахучу речовину, наприклад парфуми, — її запах незабаром відчуватиметься скрізь у кімнаті. Це означає, що молекули пахучої речовини, рухаючись, потрапляють у проміжки між молекулами повітря, яким заповнена кімната, тобто спостерігається дифузія. Саме в результаті дифузії в газах ми відчуваємо запах свіжоспеченого хліба з булочної або прогрітої сонцем трави.

Дифузію можна спостерігати й у рідинах. Проведемо такий дослід. У прозорі посудину з чистою водою за допомогою лішки наллємо розчин мідного купоросу так, щоб рідини не змішалися (рис. 2.15). Спочатку ми спостерігаємо різку межу між водою і розчином мідного купоросу. Залишивши посудину в спокої на кілька днів, ми побачимо, що вся рідина в посудині набула бірюзового кольору (рис. 2.16). Причому перемішування рідин відбулося без втручання ззовні. Схематично процес дифузії в рідинах зображено на рис. 2.17. Численні досліди свідчать, що дифузія в рідинах відбувається значно повільніше, ніж у газах. Ще більш повільно відбувається дифузія у твердих тілах. Чому? Відповідь на це запитання слід шукати в особливостях розташування молекул газів, рідин і твердих тіл.

4 З'ясуємо, як пов'язані швидкість руху молекул і температура

Приготуємо дві посудини, як показано на рис. 2.15. Одну з посудин поставимо в тепле місце, другу — у холодне. Подивившись через якийсь час на посудини, ми переконаємося, що в теплому розчині дифузія відбулася набагато швидше.

У разі підвищення температури швидкість дифузії в газах також збільшується.

Залежність швидкості дифузії від температури особливо помітна для твердих тіл. Так, англійський металург Вільям Роберт Остін провів дослід. Він наплавив тонкий диск золота на свинцевий циліндр (рис. 2.18, а) і на кілька днів помістив цей циліндр у піч, де підтримувалася температура близько 400 °С. Виявилось, що золото продифундувало через увесь циліндр (рис. 2.18, б); тим часом за кімнатної температури дифузія практично не спостерігалася.

Таким чином, ми виявили, що чим вищою є температура речовини, тим швидше відбувається дифузія, тобто молекули швидше рухаються.

Доволі складні експерименти показують, що за будь-якої температури в речовині є молекули, які рухаються досить повільно, і молекули, швидкість яких висока. Якщо кількість молекул речовини, що мають високу швидкість, збільшується, тобто збільшується середня швидкість молекул, то це означає, що температура речовини також збільшується.

5 Довідуємося про дифузію в природі та її застосування в техніці

Явище дифузії дуже поширене в природі. Завдяки дифузії вуглекислий газ потрапляє в листя рослин; кисень із повітря — на дно водоймищ; поживні речовини всотуються в кишечник; кисень із легень потрапляє в кров, а з крові — у тканини й т. д.

Дифузію широко застосовують у техніці. Одним із прикладів є дифузійне зварювання металів. Шматки металів міцно притискають один до одного, нагрівають до високої

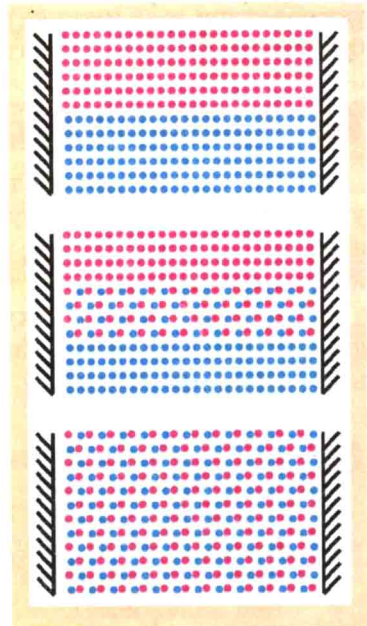


Рис. 2.17. Схематичне зображення процесу дифузії: молекули однієї рідини проникають у проміжки між молекулами іншої, і в результаті з часом рідини повністю перемішуються

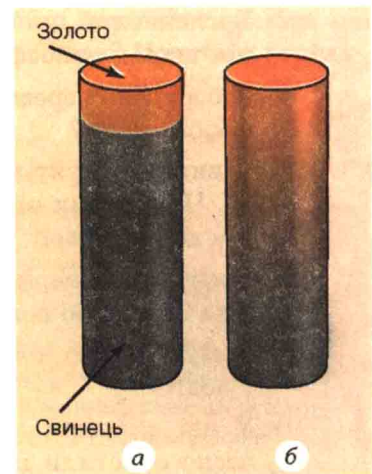


Рис. 2.18. Дослід зі спостереження дифузії у твердих тілах: а — свинцевий циліндр із напаяною золотою пластинкою; б — той самий циліндр наприкінці досліді

температури, але нижчої від температури плавлення. У місці з'єднання відбувається дифузія, і шматки металів ніби зростаються.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Атоми та молекули, з яких складається речовина, перебувають у невинному хаотичному русі. Такий рух називається тепловим, оскільки збільшення температури речовини відповідає збільшенню середньої швидкості руху її молекул.

Одним із доказів руху молекул є фізичне явище, що називається дифузєю. Дифузія — взаємне проникнення дотичних речовин одна в одну, що відбувається в результаті теплового руху молекул.



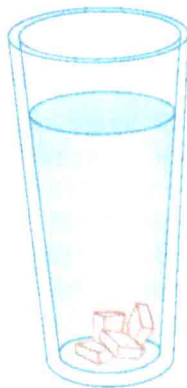
Контрольні запитання

1. Що називають тепловим рухом молекул?
2. Дайте визначення дифузії.
3. Наведіть приклади дифузії в газах, рідинах і твердих тілах.
4. Від чого залежить швидкість дифузії? Поясніть причини цієї залежності.
5. Наведіть приклади дифузії в природі.

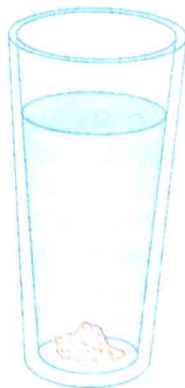


Вправи

1. У чому відмінність холодної води від гарячої з «молекулярного погляду»?
2. У якому стані речовини (газоподібному, твердому чи рідкому) дифузія відбувається швидше? Чому?
3. Вуглекислий газ важчий за інші гази, однак він присутній у верхніх шарах атмосфери. Поясніть це явище.
4. Заборонено перевозити разом з їжею такі речовини, як гас, бензин, фарби. Чому?
5. Швидкість руху молекул газу становить кілька сот метрів за секунду. Чому ж ми відчуваємо запах розлитої рідини не миттєво, а через деякий час?
6. Чому чай заварюють окропом, а не холодною водою?
7. Чому сушена слива розбухає у воді?
8. У дві склянки з водою одночасно опустили по однаковому шматочку цукру (див. рисунок). У якій склянці початкова температура води була вищою?
9. Відчувши небезпеку, кальмар викидає темно-синю захисну рідину. Чому через якийсь час



a



б

вода, забарвлена цією рідиною, навіть у спокійному стані знову стає прозорою?

10. Чи правильним, на вашу думку, є твердження, що запах свіжого хліба з пекарні поширюється лише в тому напрямку, куди дме вітер? Обґрунтуйте свою відповідь.

Експериментальні завдання

1. Надуйте дві повітряні кульки. Одну кульку помістіть у тепле місце, другу — у холодне. Через добу порівняйте, яка кулька виявилася менше здutoю. Чому?

2. Приготуйте міцний розчин кухонної солі. Налийте в склянку чисту воду, потім за допомогою лійки обережно налейте розчин солі на дно склянки (див. рисунок). Спробуйте верхню рідину на смак, переконайтеся, що вона несолонна. Відставте склянку на добу, а потім знову спробуйте воду. Який результат ви одержали? Поясніть його.



3. Візьміть дві тонкостінні склянки. В одну з них налейте холодної води, у другу — гарячої. За допомогою піпетки опустіть на дно кожної склянки кілька крапель міцного чаю. Поясніть результати.

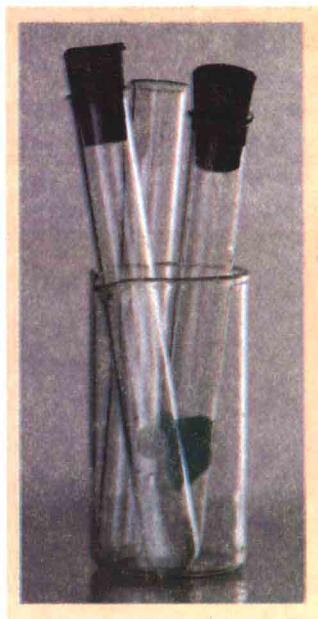
Фізика й техніка в Україні



Іван Павлович Пулюй (1845—1918) народився на Тернопільщині.

Учені особливо відзначають праці Івана Пулюя в галузі молекулярної фізики — дані про коефіцієнти внутрішнього тертя та дифузію газів і пари. Ці дані є вихідними, коли обчислюють такі мікроскопічні величини, як середня довжина вільного пробігу молекул, їх кількість в одній грам-молекулі тощо. У галузі електротехніки Іван Пулюй удосконалив технологію виготовлення освітлювальних ламп, першим дослідив неонове світло. За участі Пулюя запущено ряд електростанцій на постійному струмі в Австро-Угорщині, а також першу в Європі на змінному струмі. Значним є внесок Пулюя в дослідження рентгенівських променів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8



Тема. Дослідження явища дифузії в рідинах і газах.

Мета: спостереження явища дифузії, порівняння швидкості дифузії в рідинах і газах.

Обладнання: пробірка з маленьким (0,5—1 мм) шматочком акварельної фарби; закоркована пробірка з ватою, змоченою нашатирним спиртом; пробірка з водою; аркуш картону; склянка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Дослідження дифузії в газах

Розташуйте пробірку з ватою, змоченою спиртом, на відстані приблизно 20 см від обличчя (ближче підносити пробірку не слід). Відкрийте пробірку. Виміряйте час, що пройде від моменту відкривання пробірки до моменту виявлення вами запаху спирту. Після виявлення запаху швидко закрийте пробірку корком.

Дослідження дифузії в рідинах

На глянцевої бік картонного аркуша капніть воду і в середину краплі помістіть шматочок акварельної фарби. Виміряйте час, протягом якого крапля води забарвиться.

Аналіз результатів дослідження

Поясніть явища, які ви спостерігали, і зробіть висновок, де зазначте:

- яке явище ви досліджували;
- де швидкість дифузії є вищою — у рідині чи в газі.

§ 14. ВЗАЄМОДІЯ МОЛЕКУЛ

■ Огляньтесь навколо, і ви побачите безліч фізичних тіл. Це й ваш сусід, із яким ви сидите за партою, і сама парта. Це й стілець, на якому сидите, і ручка, якою пишете, тощо. Усі ці тіла, як ви вже знаєте, складаються з розділених проміжками частинок, що постійно рухаються.

Тоді чому частинки, з яких складаються фізичні тіла, не розлітаються навсідіч? Більш того, тіла не тільки не розсипаються на окремі молекули — навпаки, щоб їх розтягти, зламати, розірвати, потрібно докласти зусиль. Спробуймо розібратися, чому це так.

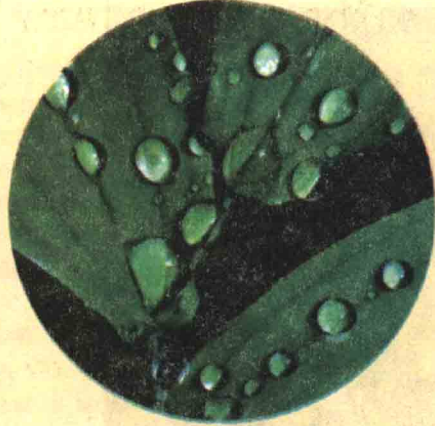


Рис. 2.19. Повислу краплю води втримують від падіння сили притягання між молекулами. Надто важка крапля падає

1 Підтверджуємо взаємодію молекул

Причина того, що всі тіла довкола нас не розпадаються на окремі молекули, є очевидною: *молекули притягаються одна до одної*. Кожна молекула притягається до сусідніх молекул, а ті, у свою чергу, — до неї. Саме завдяки міжмолекулярному притяганням тверді тіла зберігають свою форму, рідина збирається в краплини (рис. 2.19), скотч прилипає до паперу, чорнило залишає слід на аркуші, притиснуті один до одного зрізами свинцеві циліндри міцно схоплюються (рис. 2.20).

У науці встановлено, що *притягання між молекулами діє завжди*. Чому ж тоді, якщо чашку розбито, вона не стане цілою від того, що її уламки притиснуть один до одного? Хоч із якою силою ми притискатимемо частини зламаного олівця, вони також не з'єднаються в цілий олівець.

Річ у тім, що *притягання між молекулами стає помітним тільки на дуже малих відстанях* (таких, які можна порівняти з розмірами самих частинок). Якщо ми притискаємо уламки чашки або частини зламаного олівця, то на такі відстані зближується тільки дуже мала кількість молекул. А відстань між більшою частиною їх лишається такою, що молекули майже не взаємодіють. Тепер стає зрозумілим, чому для того, щоб свинцеві циліндри

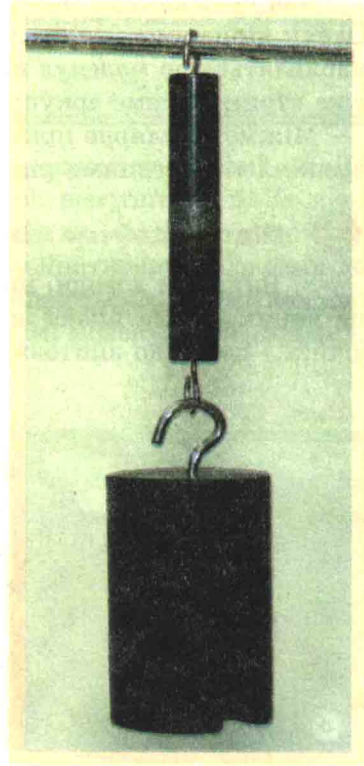


Рис. 2.20. Притиснуті один до одного свіжими зрізами свинцеві бруски злипаються так міцно, що витримують вагу великої гирі

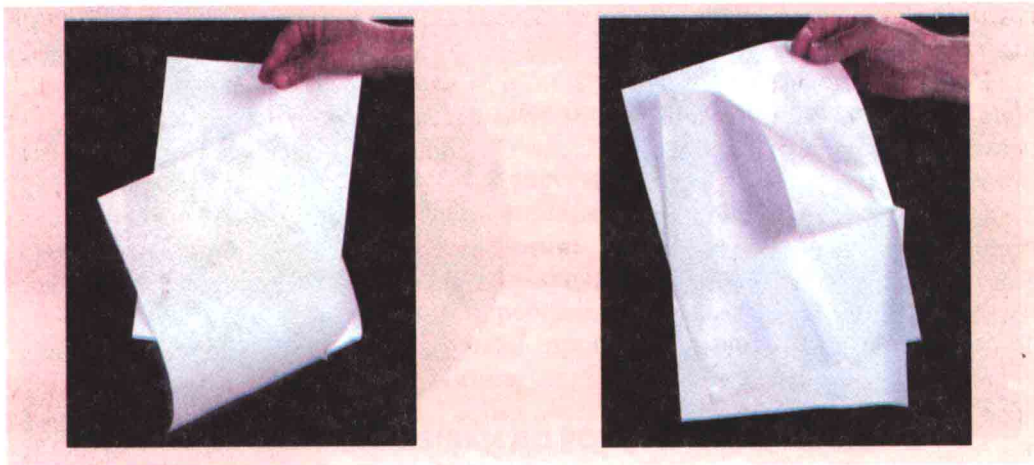


Рис. 2.21. Дослід із виявлення умов міжмолекулярного притягання

зліпилися, необхідно спершу відшліфувати зрізи, а шматочки м'якого воску або пластиліну легко злипнуться й без попереднього шліфування.

Два сухі аркуші неможливо зблизити настільки, щоб вони з'єдналися. Однак якщо змочити аркуші водою, то вони злипнуться, бо молекули води наблизяться до молекул паперу настільки, що міжмолекулярне притягання вже втримуватиме аркуші один біля одного (рис. 2.21).

Міжмолекулярне притягання також є причиною змочування або незмочування тіла певними рідинами (рис. 2.22).

2 Підтверджуємо міжмолекулярне відштовхування

Вище ми довели, що між молекулами існує притягання. З огляду на це виникає ціла низка запитань. Чому ж молекули газів, безладно рухаючись і постійно зіштовхуючись між собою, не злипаються в одну велику

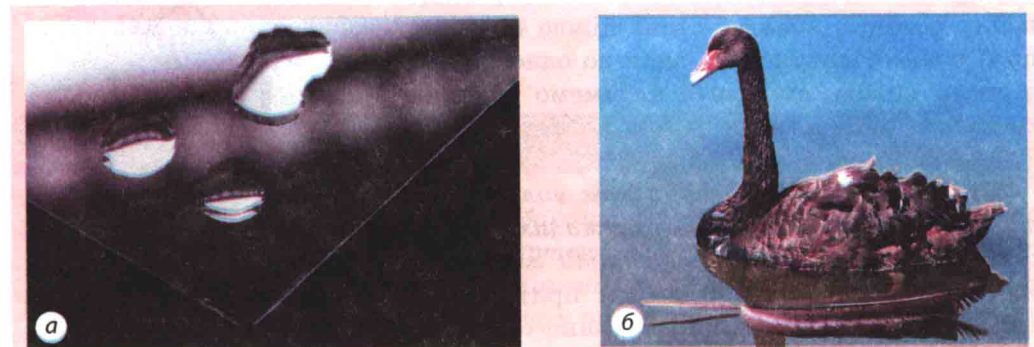


Рис. 2.22. Крапелька води розтікається по поверхні чистого скла (змочує її), оскільки притягання між молекулами рідини менше, ніж між молекулами рідини та скла (а). Притягання між молекулами води більше, ніж між молекулами води та жиру, яким вкрите пір'я водоплавних птахів, тому вода не змочує їх (згадайте вираз «як із гуски вода!») (б)

грудку? Чому, коли стиснути, наприклад, губку, вона через якийсь час відновить свою форму?

Річ у тім, що молекули не тільки притягаються одна до одної, але й відштовхуються. Якщо відстань між ними є дуже малою (трохи меншою за розмір молекули), то міжмолекулярне відштовхування стає сильнішим, ніж притягання.

Спробуйте стиснути, наприклад, монетку. Ви не зможете помітно зменшити її розміри, бо молекули монетки відштовхуватимуться одна від одної. Так само у вас не вийде помітно зменшити об'єм рідини навіть за допомогою потужного преса.

Саме міжмолекулярне притягання й відштовхування втримує молекули рідин і твердих речовин на певних, більш-менш визначених відстанях, які приблизно дорівнюють розмірам самих молекул. Тож у разі зменшення відстані молекули починають відштовхуватись одна від одної, а в разі збільшення — притягатися, тому і для зближення, і для віддалення молекул необхідно докласти зусиль.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Молекули взаємодіють між собою: вони водночас притягаються й відштовхуються. Міжмолекулярна взаємодія виявляється на відстанях, які можна порівняти з розмірами самих молекул.



Контрольні запитання

1. Чому тверді тіла й рідини не розпадаються на окремі молекули?
2. За яких умов притягання між молекулами стає помітним?
3. За якої умови спостерігається відштовхування молекул?
4. Чому неможливо з'єднати два уламки чашки, навіть сильно притискаючи їх один до одного, а два шматки пластиліну легко злипаються?
5. Відомо, що між молекулами існує притягання. Чому ж тоді молекули, наприклад, повітря не збираються в одному місці?



Вправи

1. Хоч як старанно ви з'єднуватимете два уламки лінійки, вони не з'єднуються. Чому в цьому випадку не виявляється притягання молекул?
2. Чому для того, щоб розірвати шнур, потрібно докласти зусиль?
3. З якою метою, коли складають скло, його прокладають паперовими стрічками?
4. Рідкий клей забезпечує міцне з'єднання двох тіл. Поясніть, унаслідок чого це відбувається.
5. Що мають спільного і чим відрізняються процеси зварювання і паяння металів?
6. Пір'я водоплавних птахів вкрите дуже тонким шаром жиру. Яку користь дає це птахам?



Експериментальні завдання

1. Використовуючи м'яку пружинку (або тонку гумку), чисту металеву (чи скляну) пластинку та блюдце з водою, продемонструйте, що між молекулами води і металу (скла) існують сили притягання.
2. Використовуючи аркуші, посудини з олією та водою, дайте відповіді на такі запитання. Чи злипнуться два аркуші, якщо їх змочити водою? олією? якщо один змочити водою, а другий олією? Обґрунтуйте результати експерименту.

§ 15. АГРЕГАТНИЙ СТАН РЕЧОВИНИ

■ Чи бували ви коло швидкої гірської річки? Подивіться на рисунок нижче (рис. 2.23). Навколо лежить сніг, замерзли на березі дерева, вкриті інеєм, що сяє в сонячних променях, а струмок не замерзає. Надзвичайно чиста, прозора вода розбивається об обмерзле каміння. Чому з'явився іній? У чому відмінність води і льоду? Чи є між ними подібність? У цьому параграфі ви обов'язково знайдете відповіді на ці питання.

1

Спостерігаємо різні агрегатні стани речовини

Ви вже знаєте, що вода і лід (сніг, іній) — це два різні агрегатні стани води: рідкий і твердий. Поява інею на деревах пояснюється просто: вода з поверхні річки випаровується, перетворюючись на водяну пару. Водяна пара, у свою чергу, конденсується й осідає у вигляді інею. Водяна пара — це третій стан води — газоподібний.

Наведемо ще один приклад. Ви, безперечно, знаєте про небезпеку розбити медичний термометр: у ньому міститься ртуть — густа рідина сріблястого кольору, яка, випаровуючись, утворює дуже отруйну пару. А от за температури, нижчої від -39°C , ртуть перетворюється на твердий метал. Таким чином, ртуть, як і вода, може перебувати у твердому, рідкому й газоподібному станах.

Практично будь-яка речовина залежно від фізичних умов може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому й газоподібному.

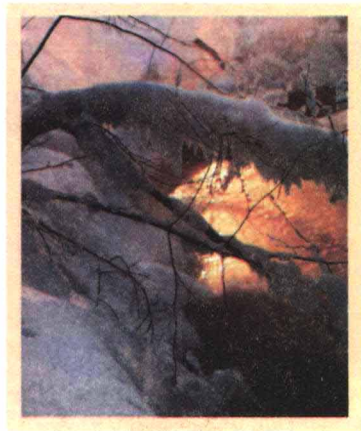


Рис. 2.23. Різні агрегатні стани води

У нашому прикладі з гірською річкою (рис. 2.23) присутні ці три агрегатні стани води.

Існує ще один агрегатний стан — *плазма*. Наприклад, ртуть у плазмовому стані міститься в увімкнених ртутних лампах (так звані лампи денного світла). У мегасвіті плазма є поширеним станом речовини, бо саме в цьому стані перебуває речовина в надрах зір.

Водяна пара, вода, лід — це три агрегатні стани тієї самої речовини, утвореної *однаковими* молекулами — молекулами води. Чому ж фізичні властивості речовин, які утворені однаковими молекулами, але перебувають у різних агрегатних станах, відрізняються одна від одної? Імовірно, причина такої відмінності полягає в тому, що молекули по-різному рухаються та взаємодіють?

Які ж властивості мають речовини в різних агрегатних станах? Як при цьому рухаються та взаємодіють молекули?

2 Спостерігаємо й пояснюємо фізичні властивості твердих тіл

Подивіться уважно на рис. 2.24. Усі зображені на ньому тверді тіла відрізняються одне від одного: кольором, виглядом тощо, вони виготовлені з різних речовин. Разом із тим вони мають і спільні властивості, притаманні всім твердим тілам.

Тверді тіла зберігають об'єм та форму. Це пояснюється тим, що молекули (атоми) твердих тіл розташовані в позиціях рівноваги. Сили притягання і відштовхування між молекулами в цих позиціях дорівнюють одна одній. У разі спроби збільшити або зменшити відстань між молекулами (тобто збільшити або зменшити розмір) виникає відповідне міжмолекулярне притягання чи відштовхування (див. § 14).

Ви знаєте, що, відповідно до атомно-молекулярної теорії, атоми (молекули) завжди перебувають у русі. Атоми твердих тіл практично не пересуваються з місця на місце — вони постійно рухаються біля певної точки, тобто коливаються. Тому *тверді тіла зберігають не тільки об'єм, але й форму.*

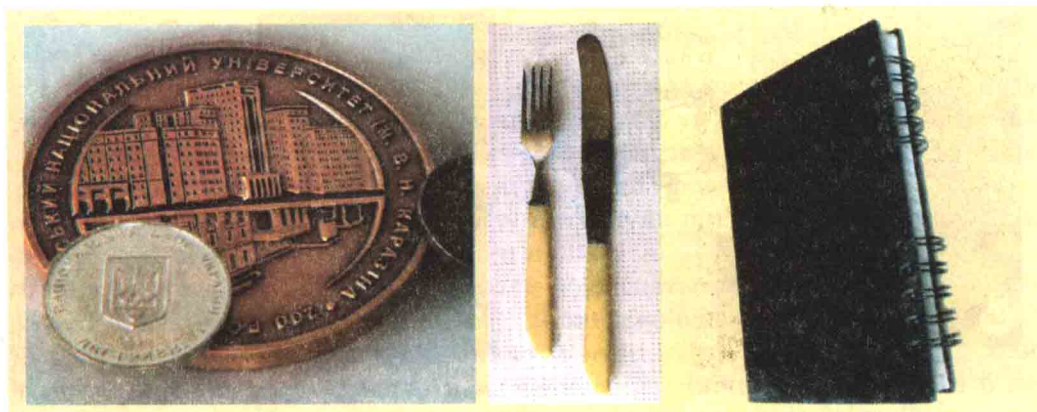


Рис. 2.24. Незважаючи на зовнішні відмінності, будь-які тверді тіла зберігають форму та об'єм

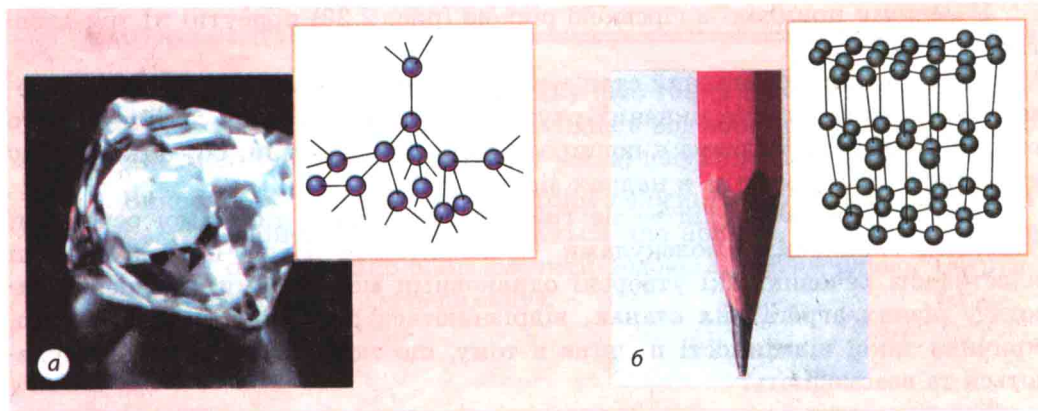


Рис. 2.25. Моделі кристалічних ґраток: а — алмазу, б — графіту. Кульками зображено центри атомів; ліній, що з'єднують атоми, насправді не існує, вони проведені лише для того, щоб пояснити характер просторового розташування атомів

3 Розрізняємо кристалічні й аморфні речовини

У ході вивчення будови твердих тіл за допомогою сучасних методів вдалося з'ясувати, що молекули й атоми більшої частини речовин у твердому стані розташовані в *чітко визначеному порядку*, фізики кажуть: утворюють **кристалічні ґратки**. Такі речовини називаються **кристалічними**. Прикладами кристалічних речовин можуть бути алмаз, графіт (рис. 2.25), лід, сіль (рис. 2.26), метали тощо.

Порядок розташування атомів (молекул) у кристалічних ґратках речовини визначає її фізичні властивості. Так, наприклад, алмаз і графіт складаються з тих самих атомів — атомів Карбону, однак ці речовини вельми відрізняються одна від одної, бо в них по-різному розташовані атоми (див. рис. 2.25).

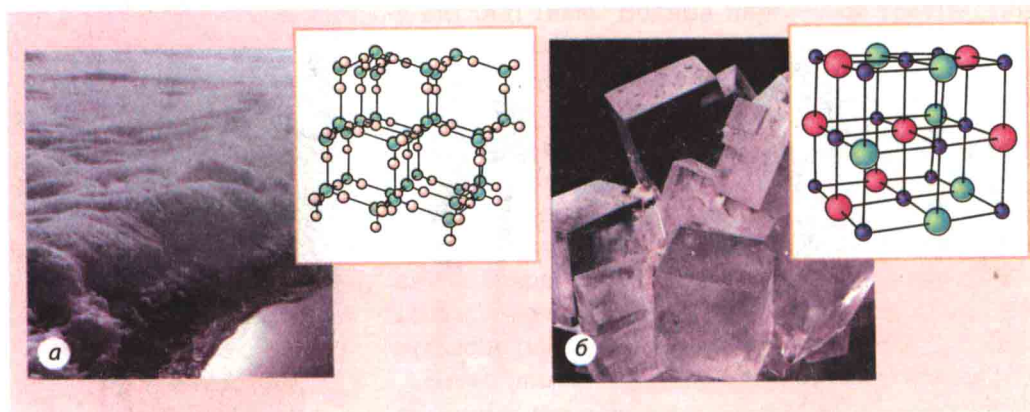


Рис. 2.26. Моделі кристалічних ґраток: а — льоду; б — кухонної солі (маленькі кульки — атоми Натрію, великі — атоми Хлору)

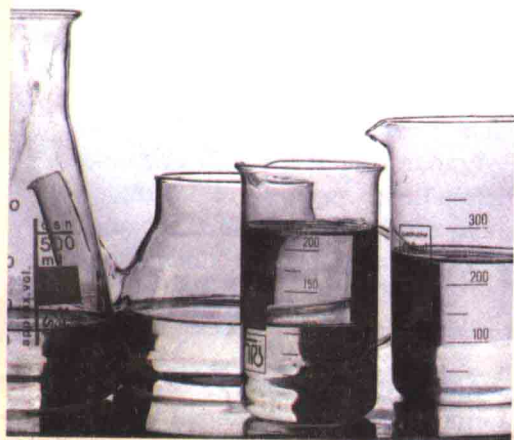


Рис. 2.27. У рідкому стані речовина зберігає об'єм, але набуває форми посудини, у якій міститься

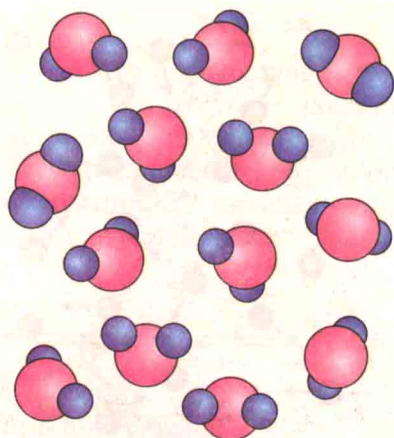


Рис. 2.28. Молекули рідини розташовані майже впритул одна до одної. У невеликому об'ємі рідини спостерігається взаємна орієнтація сусідніх молекул (існує ближній порядок). У цілому ж молекули рідини розташовані хаотично

Існує група твердих речовин (скло, віск, смола, бурштин тощо), молекули (атоми) яких не утворюють кристалічних ґраток і в цілому розташовані безладно. Такі речовини називають **аморфними**.

За певних умов тверді тіла плавляться, тобто переходять у рідкий стан. Кристалічні речовини плавляться за певної температури. Наприклад, лід зазвичай переходить у рідкий стан, якщо температура дорівнює 0°C , нафталін — якщо сягає 80°C , ртуть — якщо падає до -39°C . На відміну від кристалічних, **аморфні речовини не мають певної температури плавлення**. У разі збільшення температури вони переходять у рідкий стан поступово (танення воскової свічки).

4

Спостерігаємо й пояснюємо фізичні властивості рідин

Рідини легко змінюють свою форму й набувають форми тієї посудини, у якій вони містяться, проте об'єм рідини при цьому є незмінним (рис. 2.27). Понад те, якщо ми спробуємо стиснути рідину, нам це не вдасться. Щоб довести нестисливість рідин, науковці провели дослід: воду налили у свинцеву кулю, яку запаляли, а потім стиснули потужним пресом. Вода не стислась, а просочилася крізь стінки кулі.

Здатність рідин зберігати свій об'єм пояснюється тим, що, як і у твердих тілах, молекули в рідинах розташовані близько одна до одної (рис. 2.28).

Молекули рідини доволі щільно впаковані, однак вони не тільки коливаються на тому самому місці в оточенні найближчих «сусідів», але й досить легко можуть переміщуватися об'ємом, зайнятим рідиною. Тому рідини зберігають об'єм, але не зберігають форми — вони є **плинними**.

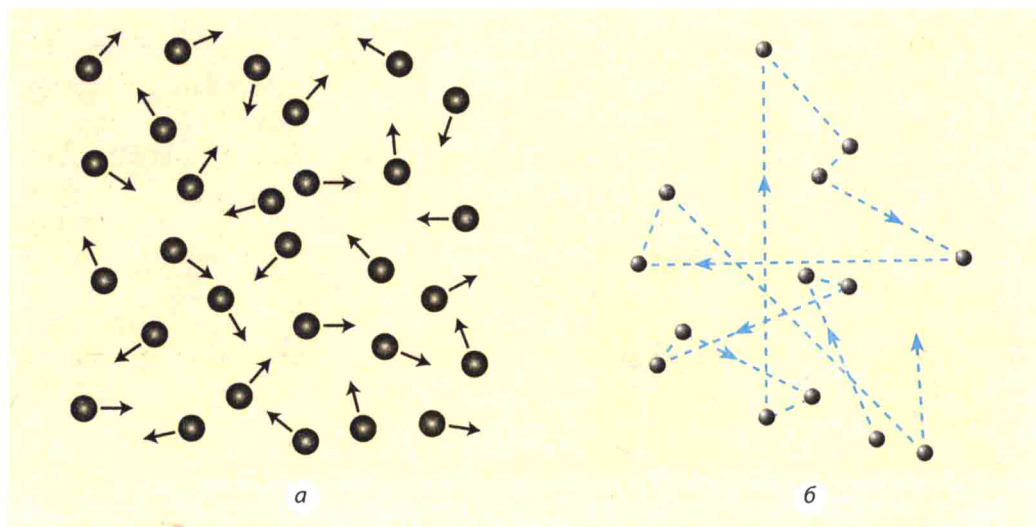


Рис. 2.29. Рух і розташування молекул у газах: *а* — напрямок руху молекул змінюється в результаті їх зіткнення з іншими молекулами; *б* — приблизна траєкторія руху молекули повітря за нормального тиску (збільшення в мільйон разів)

5 Пояснюємо фізичні властивості газів

Слово «газ» походить від грецького *chaos* («хаос», «безлад»). І справді, для газоподібного стану речовини характерний повний безлад у взаємному розташуванні та русі молекул.

Молекули газу розташовані на відстанях, які в десятки та сотні разів перевищують розміри молекул. На таких відстанях молекули практично не взаємодіють одна з одною, тому молекули газу розлітаються й *газ займає весь наданий об'єм*. Великими відстанями між молекулами пояснюється й той факт, що *гази легко стиснути*.

Щоб зрозуміти, як рухаються молекули газу, уявімо рух однієї молекули. Ось вона рухається в якомусь напрямку, на своєму шляху зіштовхується з іншою молекулою, змінює напрямок і швидкість свого руху й летить далі, до наступного удару (рис. 2.29). Чим більшою є кількість молекул у посудині, тим частіше вони зіштовхуються. Наприклад, кожна молекула, що входить до складу повітря в класній кімнаті, зіштовхується з іншими молекулами та змінює швидкість свого руху приблизно п'ять мільярдів разів за секунду.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Практично будь-яка речовина залежно від фізичних умов може існувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому й газоподібному.

Коли речовина переходить з одного стану в інший, змінюється взаємне розташування молекул і характер їхнього руху, однак склад молекул залишається незмінним.

**Контрольні запитання**

1. Назвіть речовину, яку часто можна спостерігати в трьох різних агрегатних станах. 2. Чи можна стверджувати, що ртуть — завжди рідина, а повітря — завжди газ? 3. Чи відрізняються одна від одної молекули водяної пари і льоду? 4. Чому тверді тіла зберігають об'єм і форму? 5. У чому подібність і в чому відмінність кристалічних і аморфних речовин? 6. Як рухаються молекули в рідинах? 7. Чому гази займають весь наданий об'єм?

**Вправи**

1. Виберіть правильну відповідь.

Коли перелити рідину з однієї посудини в другу, вона:

- а) змінює і форму, і об'єм;
- б) зберігає і форму, і об'єм;
- в) зберігає об'єм, але змінює форму;
- г) зберігає форму, але змінює об'єм.

2. Вода випарувалась і перетворилась на пару. Чи змінилися при цьому молекули води? Як змінилися розташування молекул і характер їхнього руху?

3. Чи може алюміній бути в газоподібному стані?

4. Чи може газ заповнити банку наполовину?

5. Чи легко стиснути воду? Відповідь обґрунтуйте.

6. Чи можна стверджувати, що в закритій посудині, яка частково заповнена водою, над поверхнею води немає?

7. У чайнику кипить вода. Чи справді ми бачимо водяну пару, що виходить із носика?

Фізика та техніка в Україні

Батько видатного вченого **Миколи Миколайовича Боголюбова** (1909—1992) вважав, що дитина швидше набуває знань, ніж доросла людина, тому почав навчати своїх синів читати й писати з 4-х років, а незабаром познайомив їх і з основами іноземних мов. Микола з дитинства мав надзвичайну працездатність. Знання талановитого 13-річного хлопчика з математики та фізики майже дорівнювали університетському курсу. Тож у 1925 році Президія Укрголовнауки прийняла рішення: «Враховуючи феноменальні здібності з математики, вважати М. М. Боголюбова (у 16 років!!!) на положенні

аспіранта науково-дослідної кафедри в Києві». М. М. Боголюбов (на фото в центрі) протягом усього життя був тісно пов'язаний з українською наукою. Понад 45 років він працював в Академії наук України, був професором Київського університету.



Експериментальні завдання

1. Використовуючи склянку з водою, доведіть, що в гумовій груші є повітря.
2. Аморфні тіла називають дуже в'язкими рідинами. Використовуючи свічку й, наприклад, маркер, доведіть, що віск, хай дуже повільно, але тече. Для цього покладіть маркер на підвіконня, зверху — перпендикулярно до маркера — покладіть свічку й залиште так на кілька днів. Поясніть результати свого експерименту.

§ 16. ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРІВ ТІЛ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

■ Якщо ви спостережливі, то, напевне, звернули увагу на такі факти. Електричні проводи влітку провисають набагато сильніше, ніж узимку, тобто влітку вони є довшими. Якщо набрати повну пляшку холодної води й поставити в тепле місце, то згодом частина води з пляшки вилетіть, тому що під час нагрівання вода розширюється. Повітряна кулька, винесена з кімнати на мороз, зменшується в об'ємі.



Рис. 2.30. Під час нагрівання повітря в колбі розширюється й частина його виходить із колби — це видно з бульбашок повітря, що виходять із трубки

1

Переконаємося в тепловому розширенні твердих тіл, рідин і газів

Нескладні досліди й численні спостереження переконують нас у тому, що, як правило, *тверді тіла, рідини й гази під час нагрівання розширюються, а під час охолодження стискуються.*

Теплове розширення рідин і газів легко спостерігати за допомогою колби, шийку якої щільно закорковано, а в корок уставлено скляну трубку. Перекинемо колбу, заповнену повітрям, у посудину з водою. Тепер досить узятися за колбу рукою, і незабаром повітря, розширюючись у колбі, виходитиме у вигляді бульбашок із трубки під водою (рис. 2.30).

Тепер наповнимо колбу якою-небудь підфарбованою рідиною та закоркуємо так, щоб частина рідини ввійшла в трубку (рис. 2.31, а). Позначимо рівень рідини в трубці та опустимо колбу в посудину з гарячою водою. У перший момент рівень рідини трохи знизиться (рис. 2.31, б),

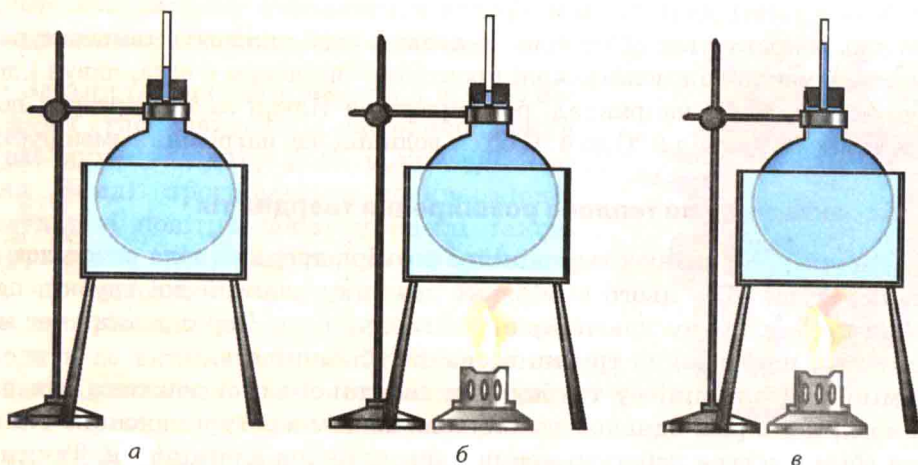


Рис. 2.31. Дослід, який демонструє, що під час нагрівання рідина (як тверді тіла та гази) розширюється: а — закоркована колба з рідиною в трубці; б — у перший момент нагрівання рівень рідини трохи знизився; в — у ході подальшого нагрівання рівень рідини значно підвищується

і це можна пояснити тим, що спочатку нагрівається й розширюється колба, а вже потім, нагріваючись, розширюється вода. Незабаром ми переконаємося, що в міру нагрівання колби й води в ній рівень рідини в трубці помітно підвищиться (рис. 2.31, в). Отже, тверді тіла та рідини, як і гази, під час нагрівання розширюються. Дослідним шляхом з'ясовано, що тверді тіла та рідини під час нагрівання розширюються набагато менше, ніж гази.

Теплове розширення твердих тіл можна продемонструвати також на такому досліді. Візьмемо мідну кульку, яка в ненагрітому стані легко проходить крізь пригнане до неї кільце. Нагріваємо кульку в полум'ї спиртівки й переконуємося у тому, що кулька крізь кільце тепер не проходить (рис. 2.32, а). Після охолодження кулька знову легко проходить крізь кільце (рис. 2.32, б).

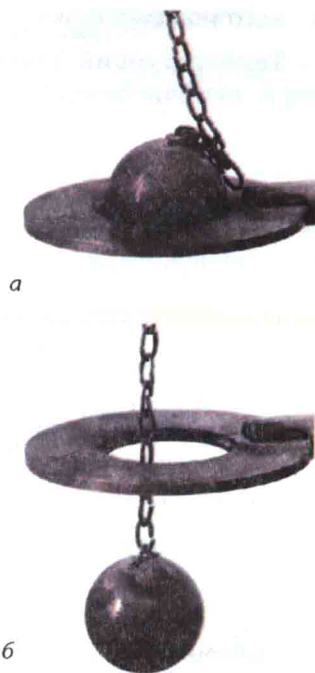


Рис. 2.32. Дослід, який ілюструє теплове розширення твердих тіл. а — у нагрітому стані кулька не проходить крізь кільце; б — після охолодження кулька крізь кільце пройде

2 З'ясуємо причину теплового розширення

У чому ж причина збільшення об'єму тіл під час нагрівання, адже кількість молекул зі збільшенням температури не змінюється?

Атомно-молекулярна теорія пояснює теплове розширення тіл тим, що зі збільшенням температури збільшується швидкість руху атомів і мо-

лекул. У результаті збільшується середня відстань між атомами (молекулами). Відповідно, збільшується об'єм тіла. І навпаки, чим нижчою є температура речовини, тим менші міжмолекулярні проміжки. Винятком є вода, чавун і деякі інші речовини. Вода, наприклад, розширюється тільки за температури понад 4 °C; за температури від 0 °C до 4 °C об'єм води під час нагрівання зменшується.

3 Характеризуємо теплове розширення твердих тіл

З'ясуємо, як змінюються лінійні розміри твердого тіла внаслідок зміни температури. Для цього виміряємо довжину алюмінієвої трубки, потім нагріємо трубку, пропускаючи крізь неї гарячу воду. Через деякий час можна помітити, що довжина трубки незначно збільшилась.

Замінивши алюмінієву трубку скляною такої самої довжини, ми переконаємося, що в разі однакового збільшення температури довжина скляної трубки збільшується набагато менше, ніж довжина алюмінієвої. Таким чином, робимо висновок: *теплове розширення тіла залежить від речовини, з якої воно виготовлене.*

Фізична величина, що характеризує теплове розширення матеріалу й чисельно дорівнює відношенню зміни довжини тіла внаслідок його нагрівання на 1 °C і його початкової довжини, називається **температурним коефіцієнтом лінійного розширення**.

Температурний коефіцієнт лінійного розширення позначається символом α та обчислюється за формулою:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t},$$

де $\Delta l = l - l_0$ — зміна довжини тіла; $\Delta t = t - t_0$ — зміна температури тіла; l_0 — початкова довжина тіла за температури t_0 ; l — довжина тіла за температури t .

З визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення можна дістати одиницю цієї фізичної величини:

$$[\alpha] = \frac{\text{м}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Нижче у таблиці наведено температурні коефіцієнти лінійного розширення деяких речовин.

Температурні коефіцієнти лінійного розширення деяких речовин

Речовина	α , 1/°C	Речовина	α , 1/°C
Алюміній	0,000024	Платина	0,000009
Залізо	0,000012	Срібло	0,000019
Золото	0,000014	Сталь	0,000012
Латунь	0,000019	Скло	0,000009
Мідь	0,000017	Цемент	0,000014
Олово	0,000027	Цинк	0,000029

4 Знайомимося з тепловим розширенням у природі й техніці

Здатність тіл розширюватися під час нагрівання і стискуватися під час охолодження відіграє дуже важливу роль у природі. Поверхня Землі прогрівається нерівномірно. У результаті повітря поблизу Землі також розширюється нерівномірно, й утворюється вітер, що зумовлює зміну погоди. Нерівномірне прогрівання води в морях і океанах приводить до виникнення течій, які суттєво впливають на клімат. Різке коливання температури в гірських районах викликає розширення і стискання гірських порід. А оскільки ступінь розширення залежить від виду породи, то розширення і стискання відбуваються нерівномірно, і в результаті утворюються тріщини, що спричиняють руйнування тих порід.

Теплове розширення доводиться брати до уваги під час будівництва мостів і ліній електропередач, прокладання труб опалення, укладання залізничних рейок, виготовлення залізобетонних конструкцій і в багатьох інших випадках.

Явище теплового розширення широко використовується в техніці й побуті. Так, для автоматичного замикання й розмикання електричних кіл використовують біметалічні пластинки — вони складаються з двох смуг із різним коефіцієнтом лінійного розширення (рис. 2.33). Теплове розширення повітря допомагає рівномірно прогріти квартиру, охудити продукти в холодильнику, провітрити кімнату.

5 Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Довжина сталеві залізничної рейки за температури 0°C дорівнює 8 м. На скільки збільшиться її довжина спекотного літнього дня за температури 40°C ?

Аналіз умови задачі. Знаючи, як змінюється довжина сталеві деталі внаслідок нагрівання на 1°C , тобто знаючи температурний коефіцієнт лінійного розширення сталі,

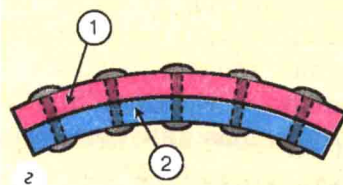
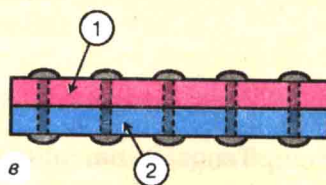
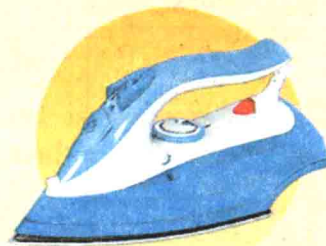
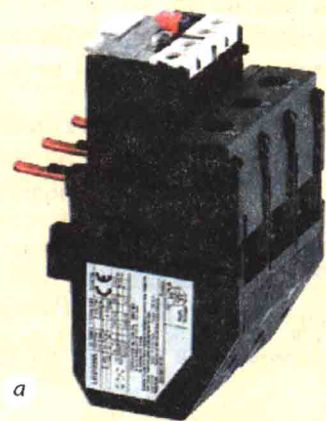


Рис. 2.33. Для виготовлення автоматичних запобіжників (а), для автоматичного ввімкнення і вимкнення нагрівальних приладів (б) широко застосовуються біметалічні пластинки (в). Один із металів у разі збільшення температури розширюється набагато більше за другий. У результаті ця пластинка вигинається (з), й електричне коло розмикається (або замикається)

ми знайдемо, на скільки зміниться довжина рейки внаслідок нагрівання на $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температурний коефіцієнт лінійного розширення сталі візьмемо з таблиці, наведеної вище.

Дано:

$$l_0 = 8 \text{ м}$$

$$t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

$$l - l_0 = ?$$

Пошук математичної моделі

За визначенням температурного коефіцієнта лінійного розширення:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}.$$

Розв'язання та аналіз результатів

З формули для визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення знайдемо подовження рейки:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t.$$

Оскільки $\Delta t = t - t_0$, отримуємо $\Delta l = \alpha l_0 (t - t_0)$.

Перевіримо одиницю виміру:

$$[l - l_0] = \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot \text{м} \cdot ^{\circ}\text{C} = \text{м}.$$

Знайдемо числове значення:

$$\{l - l_0\} = 0,000012 \cdot 8 \cdot (40 - 0) = 0,00393, \text{ таким чином, } l - l_0 = 0,00392 \text{ м} = 3,92 \text{ мм}.$$

Проаналізуємо результат: збільшення довжини рейки є цілком реальним.

Відповідь: довжина рейки збільшилася на 3,92 мм.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Тверді тіла, рідини й гази під час нагрівання, як правило, розширюються. Причина теплового розширення в тому, що зі збільшенням температури збільшується швидкість руху атомів і молекул. У результаті збільшується середня відстань між атомами (молекулами). Теплове розширення твердих речовин характеризується коефіцієнтом лінійного розширення. Коефіцієнт лінійного розширення чисельно дорівнює відношенню зміни довжини тіла внаслідок нагрівання його на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ і його початкової

$$\text{довжини } \alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t}.$$



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади, які підтверджують, що тверді тіла, рідини й гази розширюються під час нагрівання.
2. Опишіть дослід, який демонструє теплове розширення рідин.
3. У чому причина збільшення об'єму тіл під час нагрівання?
4. Від чого, крім температури, залежить зміна розмірів тіл під час їх нагрівання (охолодження)?
5. У яких одиницях вимірюється коефіцієнт лінійного розширення?



Вправи

- Виберіть усі правильні відповіді. Коли тіло охолоджується, то:
 - швидкість руху його молекул зменшується;
 - швидкість руху його молекул збільшується;
 - відстань між його молекулами зменшується;
 - відстань між його молекулами збільшується.
- Як зміниться об'єм повітряної кульки, якщо ми перенесемо її з холодного приміщення в тепле? Чому?
- Що відбувається з відстанню між частинками рідини в термометрі в разі похолодання?
- Чи правильним є твердження, що під час нагрівання тіло збільшує свої розміри, тому що розміри його молекул збільшуються? Якщо ні, запропонуйте свій, виправлений, варіант.
- Навіщо на точних вимірювальних приладах зазначають температуру?
- Згадайте дослід із мідною кулькою, яка внаслідок нагрівання застрягла в кільці (див. рис. 2.32). Як змінилися внаслідок нагрівання: об'єм кулі; її маса; густина; середня швидкість руху атомів?
- Після того як пару киплячої води пропустили через латунну трубку, довжина трубки збільшилася на 1,62 мм. Чому дорівнює коефіцієнт лінійного розширення латуні, якщо за температури 15°C довжина трубки дорівнює 1 м? Нагадаємо, що температура киплячої води дорівнює 100°C .
- Платиновий дріт завдовжки 1,5 м мав температуру 0°C . Унаслідок пропускання електричного струму він розжарився й подовжився на 15 мм. До якої температури був нагрітий дріт?
- Мідний лист прямокутної форми, розміри якого за температури 20°C становлять $60\text{ см} \times 50\text{ см}$, нагріли до 600°C . Як змінилася площа листа?



Експериментальні завдання

- Як, маючи дощечку, молоток, два цвяшки, спиртівку й пінцет, показати, що розмір монети в 5 копійок під час нагрівання збільшується? Виконайте відповідний дослід. Поясніть явище, яке спостерігається.
- Наповніть пляшку водою так, щоб усередині залишилася бульбашка повітря. Нагрійте пляшку в гарячій воді. Простежте, як зміняться розміри бульбашки. Поясніть результат.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «БУДОВА РЕЧОВИНИ»

1 Вивчаючи цей розділ, ви ще раз пригадали, що всі фізичні тіла складаються з речовин, познайомилися з деякими фізичними величинами, які характеризують тіло й речовину.

Приклади фізичних тіл	Фізична величина, що характеризує фізичне тіло				
	Назва	Символ	Одиниця	Способи вимірювання	Особливості
Ложка Зошит Стіл Людина Земля	Маса	m	кг	Зважування	Тіла, що мають рівні маси, однаково притягаються до Землі

Приклади речовин	Фізична величина, що характеризує речовину				
	Назва	Символ	Одиниця	Формула для обчислення	Особливості
Сталь Целюлоза Вода Кисень Кремній	Густина	ρ	кг/м ³	$\rho = \frac{m}{V}$	Залежить від температури й агрегатного стану речовини
	Температурний коефіцієнт лінійного розширення	α	1/°C	$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$	

2 Ви пригадали основні положення атомно-молекулярної теорії будови речовини.



3 Ви з'ясували, чим і чому відрізняються фізичні властивості речовин у різних агрегатних станах.

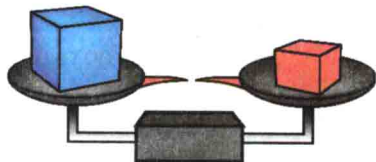
Агрегатний стан речовини	Газоподібний	Рідкий	Твердий	
			аморфний	кристалічний
Характеристика			Зберігають об'єм, практично не стискаються	
			Доволі довго зберігають форму. У разі збільшення температури поступово переходять у рідкий стан	Зберігають форму. Після досягнення певної температури переходять у рідкий стан
Порядок розташування молекул	Молекули розташовані безладно, на відстанях, які в десятки разів перевищують розміри молекул	У цілому молекули розташовані безладно		Молекули розташовані в певному порядку
		Відстань між молекулами порядку розмірів самих молекул		
Характер взаємодії молекул	Молекули практично не взаємодіють	У разі незначного зменшення відстаней між молекулами вони починають відштовхуватися одна від одної.		
		У разі незначного збільшення відстаней між молекулами вони починають притягуватися одна до одної		
Характер руху молекул	Траєкторія руху — ламана лінія. Напрямок руху молекул змінюють у моменти зіштовхувань	Більшу частину часу молекули коливаються навколо стану рівноваги		
		Час від часу перестрибують на вільне місце	Дуже рідко переміщуються на вільне місце	

ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2 «БУДОВА РЕЧОВИНИ»

У завданнях 1—14 виберіть правильну відповідь.

- 1 (1 бал) Прикладом фізичного тіла може бути:
а) срібло; б) густина; в) метеорит; г) асфальт.
- 2 (1 бал) Газ легко стиснути, тому що молекули газу:
а) легко змінюють свої розміри;
б) притягуються одна до одної;
в) розташовані доволі далеко одна від одної;
г) перебувають у безупинному хаотичному русі.
- 3 (1 бал) Мідна деталь унаслідок нагрівання розширюється, при цьому збільшується:
а) відстань між атомами Купруму; б) розмір атомів Купруму;
в) кількість атомів у деталі; г) густина міді.
- 4 (1 бал) Під час охолодження тіла зменшується:
а) маса його молекул; б) розмір його молекул;
в) швидкість руху його молекул; г) кількість його молекул.
- 5 (1 бал) Коли речовина переходить із одного агрегатного стану в інший, змінюється:
а) маса молекул;
б) склад молекул речовини;
в) характер руху та взаємодії молекул;
г) розмір молекул.
- 6 (1 бал) 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 (1 бал) Які із зазначених нижче речовин за кімнатної температури зберігають об'єм, але не зберігають форми?
а) Залізо; б) кисень; в) гелій; г) ртуть.
- 8 (2 бали) Маса атома Гідрогену:
а) більша, ніж маса молекули водню;
б) дорівнює масі молекули водню;
в) менша від маси молекули води;
г) більша від маси молекули води.
- 9 (2 бали) Маса золота об'ємом 1 м^3 є більшою, ніж маса свинцю такого самого об'єму, на:
а) 8000 кг; б) 11 300 кг; в) 8,0 г; г) 19,3 г.

10 (2 бали) На шальках зрівноважених терезів лежать два кубики (див. рисунок). Чи однаковими є густини речовин, із яких зроблені кубики?

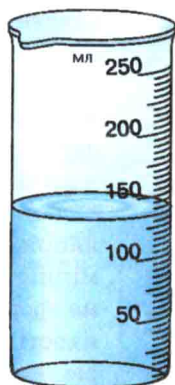


- а) Так, однаковими;
- б) ні, густина синього кубика менша, ніж густина червоного кубика;
- в) ні, густина синього кубика більша, ніж густина червоного кубика;
- г) визначити неможливо.

11 (2 бали) Газ у закритій посудині стиснули, зменшивши його об'єм удвічі. У результаті цього:

- а) кількість молекул у посудині зменшилась удвічі;
- б) густина газу збільшилась удвічі;
- в) маса газу зменшилась удвічі;
- г) відстань між молекулами збільшилась удвічі.

12 (4 бали) У порожню мензурку масою 240 г налили рідину (див. рисунок). Маса мензурки з рідиною дорівнює 375 г. Визначте, яку рідину налили в мензурку.



- а) Воду; б) олію; в) газ; г) спирт.

13 (5 балів) Щоб одержати латунь, сплавляли мідь об'ємом $0,2 \text{ м}^3$ і цинк об'ємом $0,05 \text{ м}^3$. Якою є густина одержаної латуні? (Об'єм сплаву дорівнює сумі об'ємів його складових.)

- а) 8900 кг/м^3 ; б) 8540 кг/м^3 ; в) 7100 кг/м^3 ; г) 1000 кг/м^3 .

14 (4 бали) На скільки збільшилася довжина мідного дроту внаслідок нагрівання його на 14°C , якщо його початкова довжина становила 50 м?

- а) На 9,8 мкм; б) на 11,9 мм; в) на 11,9 м; г) спирт.

15 (8 балів) Складіть питання до заповненого кросворда.



Звірте ваші відповіді на запитання 1–14 із наведеними наприкінці підручника. Щоб перевірити останнє завдання тесту, зверніться до відповідних параграфів. Позначте питання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших знань.

Аморфні речовини, з якими ви познайомилися в цій главі, хоча і являють собою тверді тіла, з точки зору мікроструктури нагадують рідини. Тому їх іще можна назвати «твердими рідинами». Та якщо є тверді рідини, то мають бути й «рідкі кристали»? І справді, такі сполуки були виявлені. А сьогодні практично кожен з нас стикається із цими речовинами щодня. Про рідкі кристали та інші дивовижні речовини й піде мова в цьому розділі.

Рідкі кристали

Окрім збереження форми — властивості, про яку ви дізналися при вивченні другої глави, — «нормальні» кристали мають так звану властивість анізотропії. Анізотропія означає, що властивості кристалу різні в різних напрямках. Про анізотропію властивостей можна отримати уявлення, наприклад, під час рубання дров: це набагато легше робити вздовж стовбура, ніж уперек.

Виявилося, що деякі рідини також поведуться анізотропно, — їхні властивості залежать від напрямку. Звичайно, не може бути й мови про міцність — рідина завжди тектиме й набуватиме форми посудини. А от, наприклад, оптичні якості (прозорість, колір) таких речовин будуть різними за різними напрямками. Такі анізотропні рідини отримали назву рідких кристалів (РК).

Рідкі кристали набули в останні роки дуже великого поширення: індикатори годинників, табло калькулятора, екран монітора — ось лише короткий перелік застосувань РК.



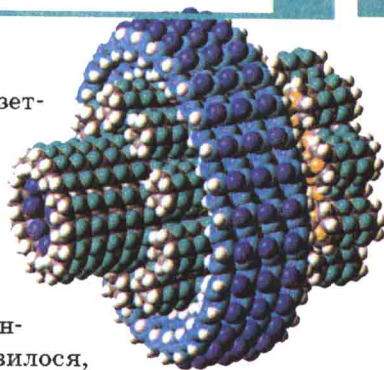
Це цікаво

Зазвичай нога людини має до 250 000 потових залоз і може виділяти до 0,5 літра поту на день. Природно, що таке вологе середовище — ідеальне місце для розповсюдження грибка, котрий живе й розмножується між пальцями ніг і в складках шкіри. Нові матеріали для шкарпеток містять срібні наночастинки. З допомогою цих наночастинок вдається майже повністю припинити розмноження грибків. Відтак завдяки нанотехнологіям люди не страждатимуть від грибка.

Нанотехнології

Практично в кожній телевізійній передачі або газетній статті, присвяченій науці, ви зможете почути заздалеку слова — «нанотехнологія», «наночастинки». Що ж вони означають?

Ви вже знаєте, що префікс «нано» означає одна мільярдна частина. Тобто наночастинки — це щось дуже маленьке. Дійсно, звичні для нас тіла складаються із мільярдів і мільярдів атомів. А от наночастинки — це лише десяток або сотня атомів разом. Виявилося, що фізичні та хімічні властивості таких маленьких частинок дуже відрізняються від великих «шматків» речовини, навіть якщо й ті, й інші складаються з атомів однакового виду. Якщо ж тепер зібрати («склеїти») багато наночастинок разом, то вийде «нормальне» за розмірами фізичне тіло. От тільки властивості його будуть унікальними (тими, які притаманні наночастинкам). На жаль, виготовити наночастинки й зібрати їх до купи дуже нелегко. Саме тому для цієї складної роботи запровадили навіть спеціальний термін — нанотехнологія.



Нанокapsули — це штучно створені мікроконтейнери для ліків. Розмір нанокapsул може змінюватися від 100 до 600 нанометрів (спробуйте виразити цю величину в метрах). Мікроконтейнери захищають ліки від руйнування на шляху до мети — хворих частин організму. Природно, що ефективність дії нових ліків значно вища від звичайної. Окрім цілеспрямованої доставки ліків, нанокapsули нині успішно застосовуються в косметичній промисловості.

Ще одним прикладом застосування нанотехнологій можуть служити дисплеї на основі нанопокриттів. На відміну від подібних дисплеїв на рідких кристалах, зображення на ультратонких дисплеях добре видно під різними кутами зору.

У більшості випадків молекули рідких кристалів являють собою витягнуті ланцюжки атомів — своєрідні «палички». Причому більша частина цих «паличок» вишиковується в одному напрямку.

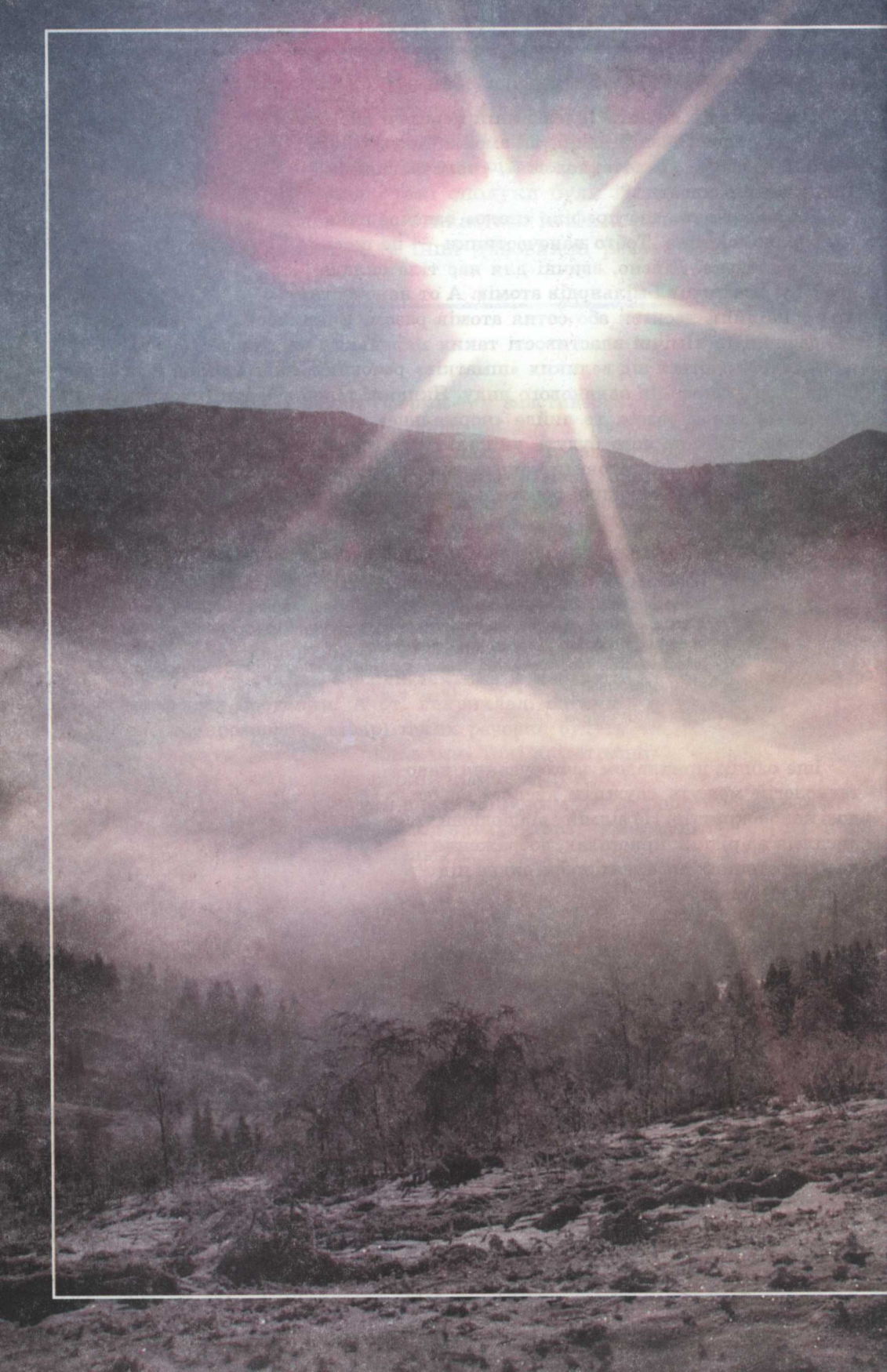


ПК-монітор із середини

Нанокатализатори для автотранспорту

Різноманітні нанокатализатори вже застосовуються при обробці сирової нафти. Нанокатализатори можуть підвищити ККД двигунів внутрішнього згоряння і при цьому зменшити викид шкідливих речовин. Дуже поширені нанофільтри для очищення як повітря у салоні, так і палива.





СВІТЛОВІ ЯВИЩА

§ 17. Оптичні явища в природі. Джерела світла	114
§ 18. Фотометрія. Світловий потік. Сила світла	119
§ 19. Освітленість	122
§ 20. Закон прямолінійного поширення світла Лабораторна робота № 9	127 133
§ 21. Відбивання світла. Закони відбивання світла Лабораторна робота № 10	136 140
§ 22. Плоске дзеркало. Дзеркальне і розсіяне відбивання світла	141
§ 23. Заломлення світла	148
§ 24*. Повне відбивання	156
§ 25. Дисперсія світла. Спектральний склад світла Лабораторна робота № 11	160 164
§ 26. Лінзи	165
§ 27. Побудова зображень, що дає тонка лінза. Формула тонкої лінзи Лабораторна робота № 12	170 177
§ 28. Око як оптична система	178

3

§ 17. ОПТИЧНІ ЯВИЩА В ПРИРОДІ. ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

■ *Із п'яти органів чуття найбільше інформації про довкілля дає нам зір. Однак бачити навколишній світ ми можемо тільки тому, що існує світло. Із цього параграфу ми починаємо вивчення світлових, або оптичних (грец. *optikos* — зоровий), явищ — таких, що пов'язані зі світлом.*

1 Спостерігаємо світлові явища

Зі світловими явищами ми зустрічаємося щодня протягом усього життя, адже вони є частиною природних умов, у яких ми живемо.

Деякі зі світлових явищ здаються нам справжнім дивом, наприклад міражі в пустелі, полярні сяйва. Проте погодьтеся, що й більш звичні для нас світлові явища: виблиск краплинки роси в сонячному промінні, місячна доріжка на плесі, семибарвний міст веселки після літнього дощу, блискавка у грозових хмарах, мерехтіння зір у нічному небі — теж є дивом, бо вони роблять світ навколо нас чудовим, сповненим чарівної краси та гармонії.

2 З'ясовуємо, що таке джерела світла

Фізичні тіла, атоми та молекули яких випромінюють світло, називають **джерелами світла**.

Погляньте навколо, зверніться до свого досвіду — і ви, без сумніву, назвете багато *джерел світла*: Сонце, спалах блискавки, вогонь багаття, полум'я свічки, лампа розжарювання, екран телевізора, монітор комп'ютера тощо (див., наприклад, рис. 3.1). Світло можуть випромінювати також організми (деякі морські тварини, світлячки та ін.).

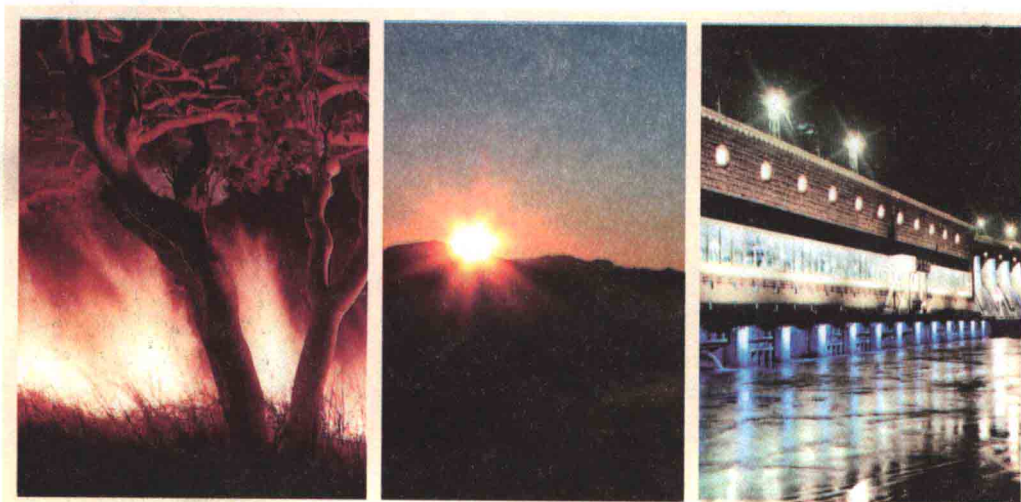


Рис. 3.1. Деякі джерела світла

У ясну місячну ніч ми можемо досить добре бачити предмети, освітлені місячним сяйвом. Однак Місяць не можна вважати джерелом світла: Місяць світла не випромінює, а тільки відбиває світло, що йде від Сонця. Так само не можна назвати джерелом світла дзеркало, за допомогою якого ви посилаєте «сонячного зайчика» у вікно вашого друга.

3 Розрізняємо природні та штучні джерела світла

Залежно від походження розрізняють **природні** та **штучні** (створені людиною) **джерела світла**.

До *природних* джерел світла належать, наприклад, Сонце й зорі, розпечена лава та полярні саява, деякі світні об'єкти з-поміж тварин і рослин: глибоководна каракатиця, радіолярія, світні бактерії тощо. Так, теплої літньої ночі в лісовій траві можна побачити яскраві цятки світла — світлячків.

Природні джерела не можуть повністю задовольнити дедалі більшу потребу людини у світлі. І тому ще в давнину люди почали створювати *штучні* джерела світла. Спочатку це були вогнище й каганець, пізніше з'явилися свічки, оливні та газові лампи. Наприкінці XIX століття винайдено електричну лампу. Сьогодні різні види електричних ламп використовують усюди (рис. 3.2—3.4).

У помешканнях ми зазвичай використовуємо лампи розжарювання. На жаль, вони не є досить економними: у таких лампах більша частина електричної енергії йде на нагрівання самої лампи та повітря навколо і тільки 3—4 % енергії перетворюється на світлове. В останні роки, однак, з'явилися нові, у декілька разів економніші конструкції електричних ламп.

Великі приміщення (супермаркети, цехи підприємств тощо) освітлюються джерелами світла у вигляді довгих трубок — лампами денного світла. Для різнобарвної ілюмінації, якою вночі підсвічено деякі будинки, торговельні центри тощо, використовують неонові, криптонові та інші лампи.



Рис. 3.2. Для освітлювання стадіонів застосовують дугові лампи

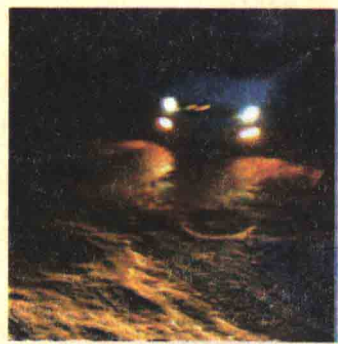


Рис. 3.3. Потужними джерелами штучного світла є галогенні лампи у фарах сучасного автомобіля



Рис. 3.4. Сигнали сучасних світлофорів добре видно навіть тоді, коли сонце світить яскраво. У таких світлофорах лампи розжарювання замінено світлодіодами

4 Знайомимося з тепловими й люмінесцентними джерелами світла

Залежно від температури джерел світла їх поділяють на теплові та люмінесцентні.

Сонце й зорі, розпечена лава та лампочка розжарювання, полум'я вогнища, свічки, газові пальники тощо — усе це приклади *теплових* джерел світла: вони випромінюють світло завдяки тому, що мають високу власну температуру (рис. 3.5).

Люмінесцентні джерела світла відрізняються від теплових тим, що для їхнього світіння не потрібна висока температура: світлове випромінювання може бути доволі інтенсивним, а джерело при цьому залишається відносно холодним.

Прикладами люмінесцентних джерел є екран телевізора, монітор комп'ютера, лампи денного світла, дороговкази та дорожні знаки, вкриті люмінесцентною фарбою, світлові індикатори, деякі організми, а також полярні сніжки.

5 Дізнаємося про точкові та протяжні джерела світла

Залежно від співвідношення розміру джерела світла і відстані від нього до приймача світла розрізняють **точкові** та **протяжні** джерела світла.

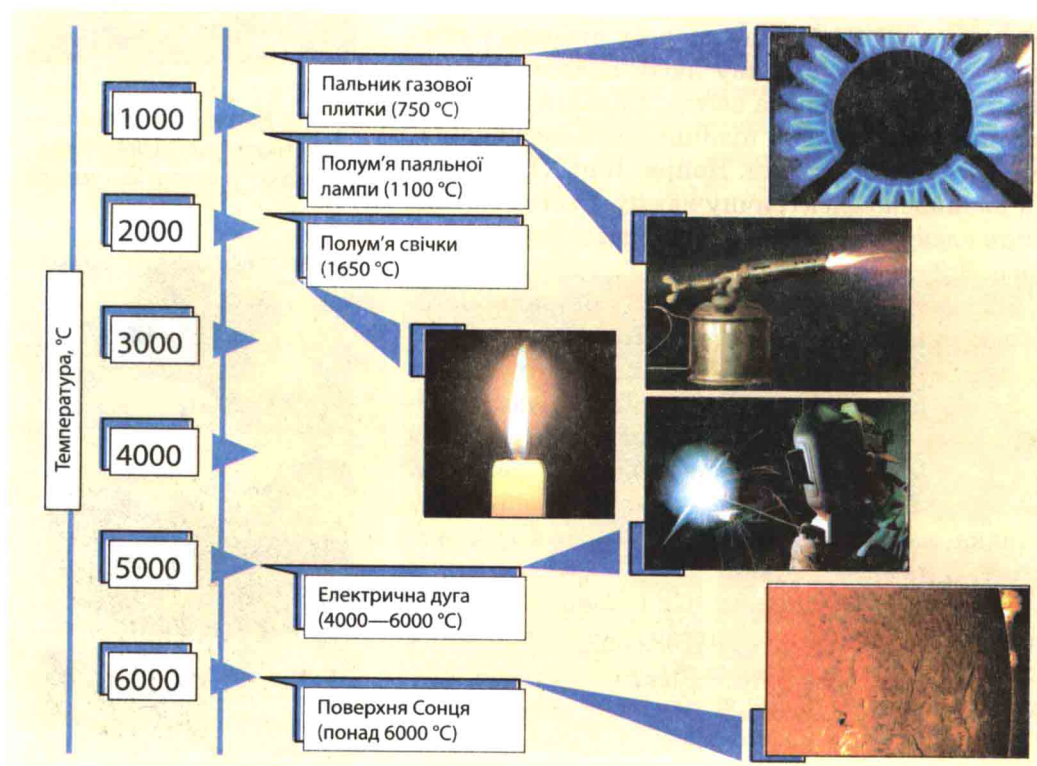


Рис. 3.5. Температура деяких теплових джерел світла

Джерело світла вважається **точковим**, якщо його розмір є відносно невеликим порівняно з відстанню від нього до приймача світла.

У протилежному разі джерело вважається **протяжним**.

Таким чином, *те саме джерело світла* залежно від умов може вважатися як *протяжним*, так і *точковим*.

Так, коли ми перебуваємо в кухні, то лампа денного світла (трубка завдовжки 0,5—1 м), що її освітлює, є для нас протяжним джерелом світла. Якщо ж ми спробуємо подивитися на ту саму лампу знадвору (наприклад, зі скверика навпроти будинку, з відстані 100—150 м до джерела світла), то лампа являтиме собою точкове джерело.

Таким чином, до точкових джерел світла можна віднести навіть величезні зорі, які за розміром набагато більші, ніж Сонце, — у тому випадку, якщо спостерігати їх із Землі, з відстані, що в мільйони разів перевищує розміри цих зір.

6 Характеризуємо приймачі світла

Ви, напевне, вже здогадалися, що *пристрої, за допомогою яких можна виявити світлове випромінювання, називають приймачами світла* (рис. 3.6).

Природними приймачами світла є очі живих істот.

Одержуючи за допомогою цих приймачів інформацію, організми певним чином реагують на зміни в довкіллі. Так, зайшовши з темряви до яскраво освітленої кімнати, ми, звичайно, замружимо очі, а побачивши вночі світло фар автомобіля поблизу, обов'язково зупинимося край дороги.

Аналогічну очам функцію виконують *штучні* приймачі світла. Так, фотоелектричними приймачами світла — фотодіодами — обладнано, наприклад, турнікети для проходження пасажирів у метро, на вокзалах тощо. Штучні фотохімічні приймачі — це фото- й кіноплівка, фотопапір.

Пропонуємо вам самим відповісти на запитання про користь таких фотохімічних приймачів.



Рис. 3.6. Приймачі світла



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізичні тіла, атоми та молекули яких випромінюють світло, називають джерелами світла.

Джерела світла бувають: теплові й люмінесцентні; природні й штучні; точкові й протяжні. Наприклад, полярне сяйво — природне, протяжне для спостерігача на Землі, люмінесцентне джерело світла.

Пристрої, за допомогою яких можна виявити світлове випромінювання, називають приймачами світла. Органи зору живих істот — природні приймачі світла.



Контрольні запитання

1. Яку роль відіграє світло в житті людини?
2. Що називають джерелами світла? Наведіть приклади джерел світла.
3. Чи є Місяць джерелом світла?
4. На рисунку зображено різні джерела світла. Які з них ви віднесли б до люмінесцентних? теплових?
5. Наведіть приклади природних і штучних джерел світла.
6. Які штучні джерела світла зустрічаються найчастіше? Наведіть приклади використання цих джерел у повсякденному житті, у техніці.
7. За яких умов джерело світла вважають точковим? протяжним?
8. Які пристрої називають приймачами світла?



Вправи

1. У яких із зазначених випадків Сонце можна вважати точковим джерелом світла?
 - а) Спостерігання сонячного затемнення;
 - б) вимірювання висоти Сонця над Землею;
 - в) спостерігання Сонця з космічного корабля, що летить за межами Сонячної системи;
 - г) визначення часу за допомогою сонячного годинника.
2. У кожному з наведених переліків визначте зайве слово або словосполучення. Поясніть свій вибір.
 - а) Полум'я свічки, Сонце, зорі, Земля, полум'я вогнища;
 - б) екран увімкненого комп'ютера, блискавка, лампа розжарювання, полум'я свічки;
 - в) лампа денного світла, полум'я газового пальника, дорожні знаки, світлячки.

3. Однією з одиниць довжини, яку застосовують в астрономії, є світловий рік. Один світловий рік дорівнює відстані, що її проходить світло у вакуумі за один рік. Скільки метрів становить світловий рік, якщо швидкість світла у вакуумі приблизно дорівнює 300 000 км/с?
4. За який приблизно час світло проходить відстань від Сонця до Землі, що дорівнює 150 000 000 км? (Швидкість світла у вакуумі приблизно дорівнює 300 000 км/с.)

Фізика та техніка в Україні



Видатний фізик **Ігор Євгенович Тамм** (1895—1971) починав свою наукову діяльність у Кримському університеті та в Одеському політехнічному інституті.

Найбільш відоме досягнення академіка І. Є. Тамма — теоретичне роз'яснення так званого ефекту Черенкова.

Ефект Черенкова — це слабе блакитне світіння, що його видає напівпрозоре середовище, коли крізь нього проходить радіаційне випромінювання. Теорія Тамма лежить в основі роботи *детекторів швидких заряджених частинок* (черенковських лічильників). За ці дослідження І. Є. Тамм отримав у 1958 році Нобелівську премію з фізики (спільно з І. М. Франком і П. О. Черенковим).

§ 18. ФОТОМЕТРІЯ. СВІТЛОВИЙ ПОТІК. СИЛА СВІТЛА

■ Ви всі знаєте, що без темних окулярів неможливо дивитися на полуденне сонце. Водночас ми можемо довго милуватися зоряним небом, і це не викликає жодних неприємних відчуттів. Чому це так? Відповісти на ці питання нам допоможе фотометрія (від грец. *photos* — світло).

Фотометрія — розділ оптики, у якому розглядаються енергетичні характеристики світла в процесах його випромінювання, поширення та взаємодії із середовищем.

1 Переконаємося в необхідності вивчення енергетичних характеристик світла

Дія світла може бути різною: від *теплової*, яка виявляється в нагріванні тіл, що поглинають світло, до *електричної*, *хімічної* та *механічної*. Таку дію світла уможливорює наявність у світла **енергії**, тому про енергетичні характеристики світла знати дуже важливо.

Різні дії світла лежать в основі роботи технічних пристроїв. Наприклад, системи охорони різноманітних об'єктів працюють на чутливих прийमा-чах світла — фотоелементах. Тонкі пучки світла, що буквально пронизують простір навколо охоронюваного об'єкта, спрямовані на фотоелементи

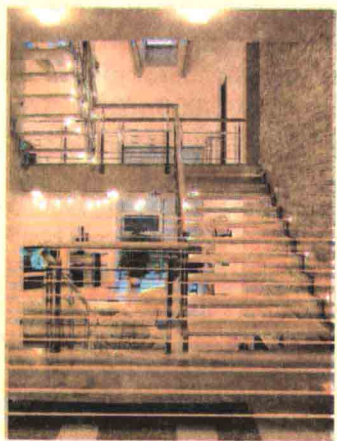


Рис. 3.7. У сучасних охоронних системах використовуються чутливі фотоелементи

(рис. 3.7), і якщо перекрити один із таких променів, то фотоелемент перестане одержувати світлову енергію й негайно «повідомить» про це — пролунає сигнал тривоги.

Інші технічні пристрої здатні реагувати не тільки на факт *наявності* світлової енергії, але й на її *кількість*. Так, освітлення вулиць великих міст (рис. 3.8) вмикається автоматично в момент, коли кількість одержуваної світлової енергії Сонця зменшується до певного значення. Робота подібних пристроїв зорієнтована на сприймання світла людським оком. Тому очевидно є важливість розгляду енергетичних характеристик світла, що ґрунтуються на безпосередньому сприйманні світла оком — на *зоровому відчутті*.



Вчимося розрізняти світловий потік і силу світла

Зорові відчуття є дуже суб'єктивними. Як їх оцінити? Ваша мама кличе вас увечері: «Іди додому, уже темно!» А вам здається, що для ігор ще досить світла. Крім того, чутливість ока до світла *різного кольору* дуже різна. Так, зорові відчуття від зеленого кольору в ока приблизно в сто разів сильніші, ніж від червоного (наприклад, зелену лампу око сприймає як більш потужну, ніж червону, за однакової потужності обох ламп).

Щоб усе це з'ясувати, учені провели сотні дослідів і встановили *середні характеристики зорових відчуттів людини*. На цій базі створено прилади, здатні вимірювати фізичні величини, які характеризують зорові відчуття. Одну з таких величин називають *світловим потоком*.

Світловий потік — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості оцінюваної за зоровим відчуттям світлової енергії, що падає на поверхню за одиницю часу.

Світловий потік позначається символом Φ та обчислюється за формулою:

$$\Phi = \frac{W}{t},$$

де W — оцінювана за зоровим відчуттям світлова енергія, що падає на певну поверхню; t — час падіння світлової енергії на ту поверхню.



Рис. 3.8. Зовнішнє освітлення у великих містах умикається автоматично тільки в темну пору доби

За одиницю світлового потоку взято люмен (лм) (від латин. *lumen* — світло). Виявилося, наприклад, що світловий потік від зоряного неба, який падає на сітківку ока, — близько 0,000000001 лм, світловий потік від полуденного сонця — 8 лм. Саме тому ми не можемо дивитися на яскраве сонце неозброєним оком.

У повсякденному житті як джерела світла дуже часто застосовують електричні лампи розжарювання, що відрізняються одна від одної *потужністю* (позначається P і вимірюється у ватах, Вт). Для характеристики повного світлового потоку деяких ламп розжарювання наводимо відповідну таблицю:

Потужність лампи P , Вт	Повний світловий потік Φ , лм	Потужність лампи P , Вт	Повний світловий потік Φ , лм
15	127	100	1275
40	377	500	8725
60	645	1000	19 000

Світловий потік створюється джерелом світла. *Фізична величина, що характеризує світіння джерела світла в певному напрямку, називається силою світла.*

Якщо джерело випромінює видиме світло рівномірно в усі боки, то сила світла обчислюється за формулою:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi},$$

де Φ — повний світловий потік, що його випускає джерело; π — стала величина, яка приблизно дорівнює 3,14.

За одиницю сили світла в Міжнародній системі одиниць (СІ) взято **канделу** (кд) (від латин. *candela* — свічка). *Кандела — одна з основних одиниць СІ.*

3 Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Обчисліть повний світловий потік, що його випромінює лампа розжарювання, сила світла якої дорівнює 30 кд. Визначте потужність лампи.

Дано:	Аналіз фізичної проблеми
$I = 30$ кд	Вважаємо, що лампа випромінює світло рівномірно в усі боки, адже повний світловий потік ми маємо знайти з формули для сили світла. Потужність, яку споживає лампа, визначимо за таблицею.
Φ — ?	Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів
P — ?	Скористаємося формулою $I = \frac{\Phi}{4\pi}$, звідки $\Phi = 4\pi I$.
	Визначимо значення шуканої величини: $\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 30 = 376,8$ (лм).
	Проаналізуємо результат: скориставшись таблицею, виявимо, що світловий потік $376,8$ лм ≈ 377 лм випромінює лампа потужністю 40 Вт.
	Відповідь: $\Phi = 376,8$ лм, $P = 40$ Вт.

**ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ**

Розділ оптики, у якому розглядаються енергетичні характеристики світла в процесі його випускання, поширення та взаємодії із середовищем, називається фотометрією.

Світлове випромінювання джерела характеризується світловим потоком і силою світла.

Фізична величина, що чисельно дорівнює кількості оцінюваної за зоровим відчуттям світлової енергії W , яка падає на поверхню за одиницю часу t , називається світловим потоком (Φ). Світловий потік вимірюється в люменах (лм).

Фізична величина, що характеризує світіння джерела світла в певному напрямку, називається силою світла (I). Одиниця сили світла — кандела (кд), одна із семи основних величин СІ.

**Контрольні запитання**

1. Наведіть приклади технічних пристроїв, що реагують на надходження світлової енергії.
2. Що називають світловим потоком? У яких одиницях він вимірюється?
3. До світла якого кольору — зеленого чи червоного — чутливість ока є вищою?
4. За якою формулою визначають силу світла? У яких одиницях вона вимірюється?

**Вправи**

1. Сила світла точкового джерела становить 100 кд. Визначте повний світловий потік, що його випускає це джерело.
2. Повний світловий потік електричної лампи дорівнює 1884 лм. Визначте силу світла цього джерела.
3. Чому вдень важко роздивитися зовнішній простір неосвітленої кімнати крізь вікно, не наближаючи обличчя впритул до скла?
4. Припустімо, що від червоного й зеленого сигналів світлофора на сітківку ока падає приблизно однаковий світловий потік. Чи однакової потужності лампи встановлені у світлофорі? Якщо ні, то потужність якої лампи більша — зеленої чи червоної?

§ 19. ОСВІТЛЕНІСТЬ

■ Пригадайте свої відчуття, коли ви заходили в темне приміщення. Стає дещо не по собі, адже нічого не видно навколо... Але варто увімкнути ліхтарик — і близько розташовані предмети стають добре помітними. Ті ж, що є десь далі, можна ледве розрізнити за контурами. У таких випадках кажуть, що предмети по-різному освітлені. З'ясуймо, що таке освітленість і від чого вона залежить.

1

Визначаємо освітленість

Від будь-якого джерела світла поширюється світловий потік. Чим більший світловий потік упаде на поверхню того чи іншого тіла, тим краще його видно.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку, що падає на одиницю освітленої поверхні, називається **освітленістю**.

Освітленість позначається символом E та визначається за формулою:

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

де Φ — світловий потік; S — площа поверхні, на яку падає світловий потік.

У СІ за одиницю освітленості взято люкс (лк) (від латин. *lux* — світло).

Один люкс — це освітленість такої поверхні, на один квадратний метр якої падає світловий потік, що дорівнює одному люмену:

$$1 \text{ лк} = \frac{1 \text{ лм}}{1 \text{ м}^2}.$$

Наводимо деякі значення освітленості поверхні (поблизу землі).

Освітленість E :

- сонячним промінням опівдні (на середніх широтах) — 100 000 лк;
- сонячним промінням на відкритому місці в похмурий день — 1000 лк;
- сонячним промінням у світлій кімнаті (поблизу вікна) — 100 лк;
- на вулиці при штучному освітленні — до 4 лк;
- від повного місяця — 0,2 лк;
- від зоряного неба в безмісячну ніч — 0,0003 лк.

2

З'ясовуємо, від чого залежить освітленість

Мабуть, усі ви бачили шпигунські фільми. Уявіть: який-небудь герой при світлі слабкого кишенькового ліхтарика уважно переглядає документи в пошуках необхідних «секретних даних». Узагалі, щоб читати, не напружуючи очей, потрібна освітленість, не менша від 30 лк (див. наприклад, рис. 3.9), а це чимало. І як наш герой домагається такої освітленості?

По-перше, він підносить ліхтарик якнайближче до документа, який переглядає. Отже, **освітленість залежить від відстані від джерела світла до освітлюваного предмета**.

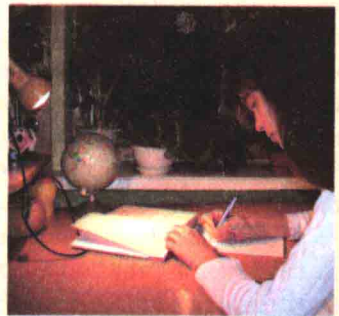


Рис. 3.9. Щоб прочитати досить дрібний шрифт, слід збільшити освітленість сторінки

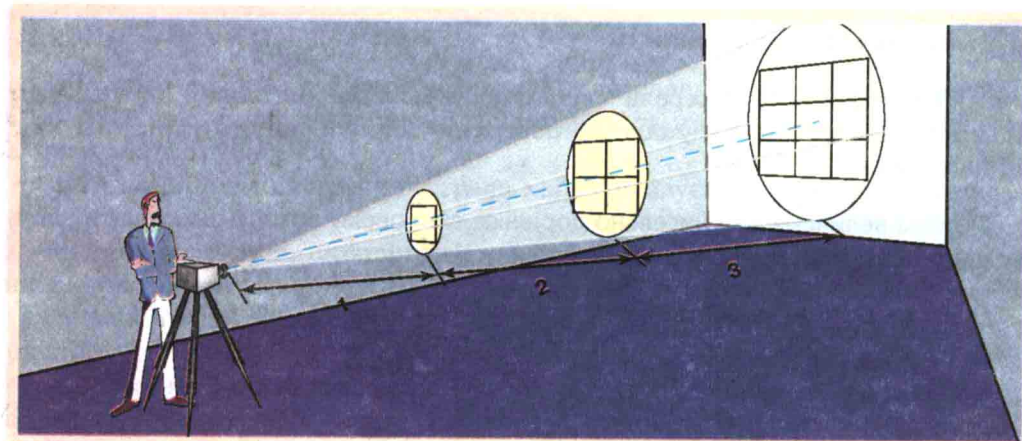


Рис. 3.10. У разі збільшення відстані до джерела світла площа освітленої поверхні збільшується

По-друге, він розташовує ліхтарик перпендикулярно до поверхні документа, а це означає, що *освітленість залежить від кута, під яким світло падає на поверхню*.

І нарешті, для кращого освітлення він просто може взяти потужніший ліхтарик, бо очевидно, що зі збільшенням сили світла джерела збільшується освітленість.

З'ясуємо, як змінюється освітленість у разі збільшення відстані від точкового джерела світла до освітлюваної поверхні. Нехай, наприклад, світловий потік від точкового джерела падає на квадратний екран, розташований на певній відстані від джерела. Якщо збільшити відстань удвічі, можна помітити, що той самий світловий потік освітлюватиме в 4 рази більшу площу. Оскільки $E = \frac{\Phi}{S}$, то освітленість у цьому випадку зменшиться в 4 рази. Якщо збільшити відстань у 3 рази, освітленість зменшиться в $9 = 3^2$ разів. Тобто *освітленість є обернено пропорційною квадрату відстані від точкового джерела світла до поверхні* (рис. 3.10).

Якщо пучок світла падає перпендикулярно до поверхні, то світловий потік розподіляється на мінімальній площі. У разі збільшення кута падіння світла збільшується площа, на яку падає світловий потік, тому *освітленість зменшується* (рис. 3.11). Ми вже говорили, що в разі збільшення сили світла джерела освітленість збільшується. Експериментально встановлено, що *освітленість є прямо пропорційною силі світла джерела*.

(Освітленість зменшується, якщо в повітрі є часточки пилу, туману, диму, бо вони відбивають і розсіюють певну частину світлової енергії.)

Якщо поверхня розташована перпендикулярно до напрямку поширення світла від точкового джерела і світло поширюється в чистому повітрі, то освітленість можна визначити за формулою:

$$E = \frac{I}{R^2},$$

де I — сила світла джерела, R — відстань від джерела світла до поверхні.

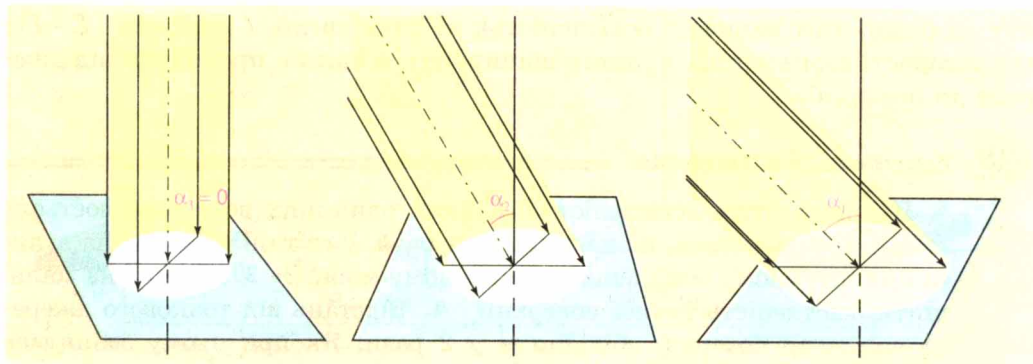


Рис. 3.11. У разі збільшення кута падіння α паралельних променів на поверхню зменшується освітленість цієї поверхні, оскільки падаючий світловий потік розподіляється по все більшій площі поверхні

3 Вчимося розв'язувати задачі

Стіл освітлений лампою, розташованою на висоті 1,2 м прямо над столом. Визначте освітленість столу безпосередньо під лампою, якщо повний світловий потік лампи становить 750 лм. Лампу вважайте точковим джерелом світла.

Дано:
 $\Phi = 750$ лм
 $R = 1,2$ м

$E = ?$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі

Оскільки джерело світла вважаємо точковим і стіл розташований перпендикулярно до напрямку поширення світла,

то можемо скористатися формулою $E = \frac{I}{R^2}$ (1). Лампа поширює світло в усі боки рівномірно, тому $I = \frac{\Phi}{4\pi}$ (2).

Розв'язання та аналіз результатів

Підставивши формулу (2) у формулу (1), знайдемо:

$E = \frac{\Phi}{4\pi} : R^2 = \frac{\Phi}{4\pi R^2}$. Визначимо значення шуканої величини:

$$E = \frac{750}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,44} = 41,5 \text{ (лк)}.$$

Аналіз результатів: отримане значення освітленості

$E = 41,5$ лк є цілком реальним.

Відповідь: $E = 41,5$ лк.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку Φ , що падає на одиницю освітлюваної поверхні S , називається освітленістю (E):

$E = \frac{\Phi}{S}$. У СІ за одиницю освітленості взято люкс (лк).

Освітленість поверхні E залежить: а) від відстані R до освітлюваної поверхні ($E \sim \frac{1}{R^2}$); б) кута, під яким світло падає на поверхню (чим менший

кут падіння, тим вищою є освітленість); в) сили світла I джерела ($E \sim I$); г) прозорості середовища, у якому поширюється світло, проходячи від джерела до поверхні.



Контрольні запитання

1. Що називають освітленістю? У яких одиницях вона вимірюється?
2. Чи можна читати, не напружуючи очей, у світлій кімнаті? на вулиці при штучному освітленні? при повному місяці? 3. Як можна збільшити освітленість певної поверхні? 4. Відстань від точкового джерела світла до поверхні збільшили у 2 рази. Як при цьому змінилась освітленість поверхні? 5. Чи залежить освітленість поверхні від сили світла джерела, що освітлює цю поверхню? Якщо залежить, то як?



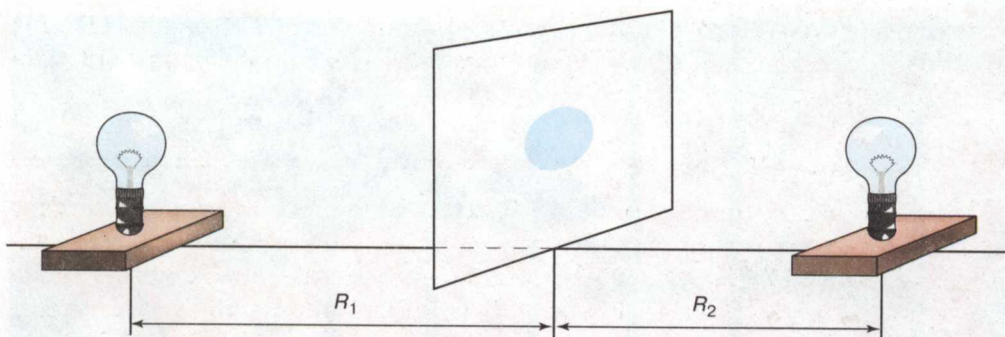
Вправи

1. Чому освітленість горизонтальних поверхонь опівдні є більшою, ніж уранці та ввечері?
2. Відомо, що освітленість від декількох джерел дорівнює сумі освітленостей від кожного з цих джерел окремо. Наведіть приклади застосування цього правила на практиці.
3. Після вивчення теми «Освітленість» семикласники вирішили збільшити освітленість свого робочого місця:
 - Петрик замінив лампочку у своїй настільній лампі на лампочку більшої потужності;
 - Наталка поставила ще одну настільну лампу;
 - Антон підняв люстру, що висіла над його столом, вище;
 - Юрко розташував настільну лампу таким чином, що світло почало падати практично перпендикулярно до столу.
 Які з учнів зробили правильно? Обґрунтуйте відповідь.
4. У ясний полудень освітленість поверхні Землі під прямими сонячними променями становить 100 000 лк. Визначте світловий потік, що падає на ділянку площею 100 см².
5. Визначте освітленість від електричної лампочки потужністю 60 Вт, розташованої на відстані 2 м. Чи досить цієї освітленості для читання книжки?
6. Дві лампочки, поставлені поряд, освітлюють екран. Відстань від лампочок до екрана 1 м. Одну лампочку вимкнули. На скільки потрібно наблизити екран, щоб його освітленість не змінилася?



Експериментальне завдання

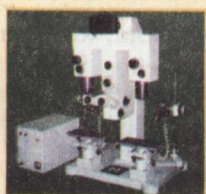
Для вимірювання сили світла використовують прилади, що називаються *фотометрами*. Виготовте найпростіший аналог фотометра. Для цього візьміть білий аркуш (екран) і поставте на ньому масну пляму (наприклад, олією). Закріпіть аркуш вертикально й освітіть його з двох боків різними джерелами світла (S_1, S_2) (див. рисунок). (Світло від джерел має падати



перпендикулярно до поверхні аркуша.) Повільно пересуваючи одне з джерел, зробіть так, щоб пляма стала практично невидимою. Це станеться, коли освітленість плями з одного й другого боку буде однаковою. Тобто $E_1 = E_2$.

Оскільки $E = \frac{I}{R^2}$, то $\frac{I_1}{R_1^2} = \frac{I_2}{R_2^2}$. Виміряйте відстань від першого джерела до екрана (R_1) і відстань від другого джерела до екрана (R_2). Порівняйте, у скільки разів сила світла першого джерела відрізняється від сили світла другого джерела: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$.

Фізика та техніка в Україні



Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад» (м. Черкаси)

Сфера діяльності підприємства — розробляння й виробництво приладів точної механіки, оптоелектроніки та оптомеханіки різноманітного призначення, медичної та криміналістичної техніки, побутових товарів, офісних годинників представницького класу.

НВК «Фотоприлад» розробляє та випускає перископічні приціли для різноманітних артилерійських установок, гірокомпаси, гіроскопи, оптико-електронну апаратуру для вертольотів, бронетехніки, а також широкий спектр оптичного обладнання та приладів різного призначення.

§ 20. ЗАКОН ПРЯМОЛІНІЙНОГО ПОШИРЕННЯ СВІТЛА

■ Коли ви граєте в хованки або пускаєте «сонячних зайчиків», то, не підозрюючи того, користуєтеся законом прямолінійного поширення світла. З'ясуймо, у чому полягає цей закон і які явища він пояснює.

1

Вчимося розрізняти пучок світла і світловий промінь

Для спостерегання світлових пучків нам не потрібне жодне спеціальне обладнання (рис. 3.12).

Достатньо, наприклад, нещільно зсунути в кімнаті штори ясного сонячного дня, або відчинити двері з освітленої кімнати в темний коридор,

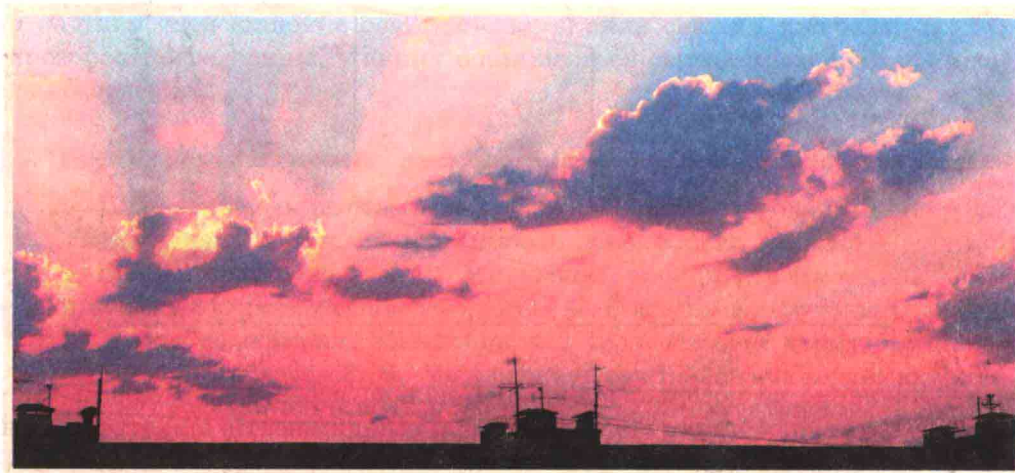


Рис. 3.12. У похмурі дні крізь розрив хмар пробиваються пучки сонячного світла

або увімкнути в темряві ліхтарик. Пучки світла в першому випадку проходять до кімнати крізь щілину між шторами, у другому — падають на підлогу через дверний просвіт; в останньому випадку світло від лампочки в певному напрямку спрямовує рефлектор ліхтарика. Пучки світла в кожному з цих випадків утворюють яскраві світлові плями на освітлюваних ними предметах.

У реальному житті ми маємо справу тільки з пучками світла, хоча, погодьтеся, нам звично казати: промінь сонця, промінь прожектора, зелений промінь тощо.

Насправді, з погляду фізики, правильно було б говорити: пучок сонячних променів, пучок зелених променів і т. д. А от для схематичного зображення світлових пучків використовують *світлові промені* (рис. 3.13).

Світловий промінь — це лінія, що вказує напрямок поширення світлового пучка.

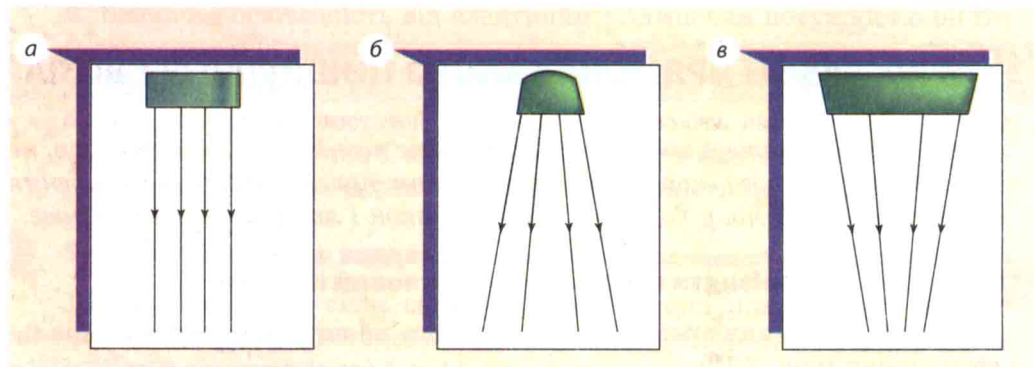


Рис. 3.13. Схематичне зображення світлових пучків за допомогою світлових променів: а — паралельний світловий пучок; б — розбіжний світловий пучок; в — збіжний світловий пучок

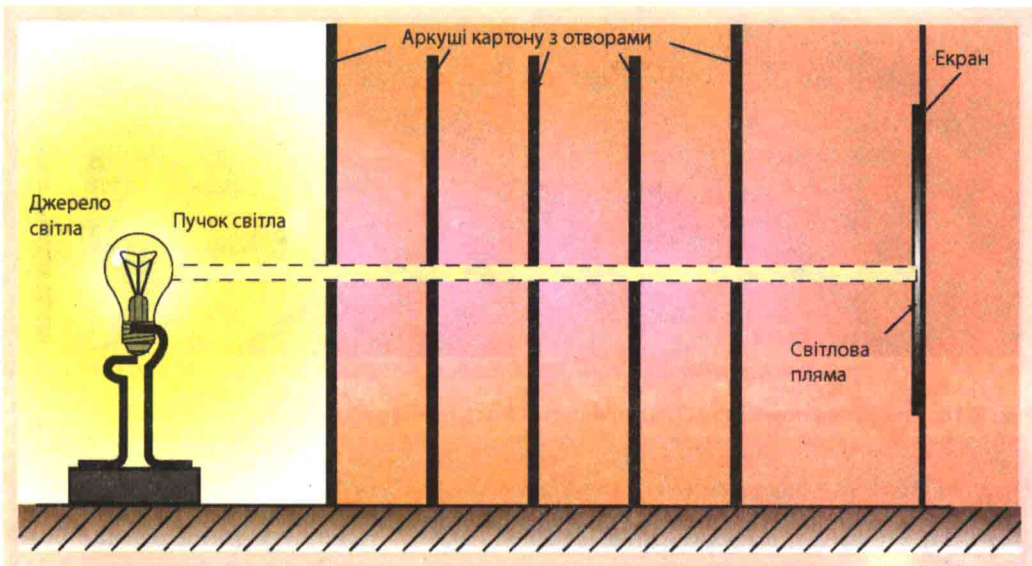


Рис. 3.14. Дослід, який демонструє прямолінійне поширення світла

Отже, ви тепер знаєте, що, коли далі в тексті зустрічатимуться фрази на зразок «промінь світла падає», «заломлення променя» тощо, слід мати на увазі, що йдеться про *пучок світла, напрямом якого заданий цим променем*.

2 Переконаємося в прямолінійності поширення світла

Проведемо дослід. Розташуємо послідовно джерело світла, кілька аркушів картону з круглими отворами (діаметром приблизно 5 мм) й екран. Розмістимо аркуші картону в такий спосіб, щоб на екрані з'явилася світлова пляма (рис. 3.14). Якщо тепер узяти, наприклад, спицю та протягти її крізь отвори, то спиця легко пройде крізь них, тобто виявиться, що отвори розташовані на одній прямій.

Цей дослід демонструє собою **закон прямолінійного поширення світла**, встановлений у далеку давнину. Про нього понад 2500 років тому писав давньогрецький учений Евклід. До речі, у геометрії поняття променя та прямої лінії виникли на основі уявлення про світлові промені.

Закон прямолінійного поширення світла: у прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.



Рис. 3.15. Принцип дії сонячного годинника базується на тому, що тінь від вертикально розташованого об'єкта, освітлюваного сонцем, змінює свою довжину та розміщення протягом дня

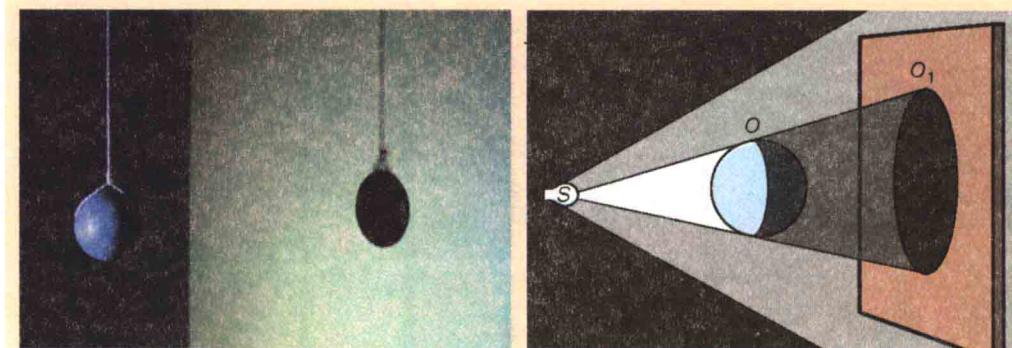


Рис. 3.16. Утворення повної тіні O_1 від предмета O , освітленого точковим джерелом світла S

3 З'ясуємо, що таке повна тінь і півтінь

Прямолінійністю поширення світла можна пояснити той факт, що будь-яке непрозоре тіло, освітлене джерелом світла, відкидає *тінь* (див. рис. 3.15).

Якщо джерело світла відносно предмета є точковим, то тінь від предмета буде чіткою. У цьому випадку говорять про *повну тінь* (рис. 3.16).

Повна тінь — це та область простору, в яку не потрапляє світло від джерела світла.

Якщо тіло освітлене кількома точковими джерелами світла або протяжним джерелом, то на екрані утворюється тінь із нечіткими контурами. У такому випадку створюється не тільки повна тінь, а ще й *півтінь* (рис. 3.17).

Півтінь — це область простору, освітлена деякими з кількох наявних точкових джерел світла або частиною протяжного джерела.

Утворення повної тіні й півтіні в космічних масштабах ми спостерігаємо під час *місячного* (рис. 3.18) та *сонячного* (рис. 3.19) *затемнень*. У тих місцях Землі, на які впала повна тінь Місяця, спостерігається *повне сонячне затемнення*, у місцях півтіні — *часткове затемнення Сонця*.

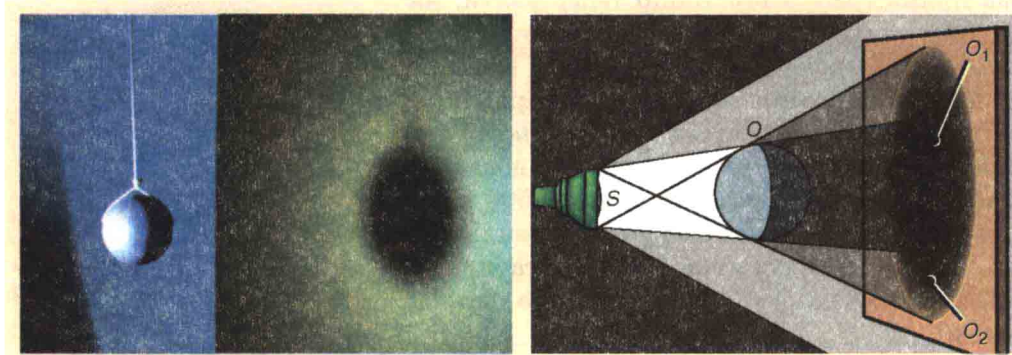


Рис. 3.17. Утворення повної тіні O_1 і півтіні O_2 від предмета O , освітленого протяжним джерелом світла S

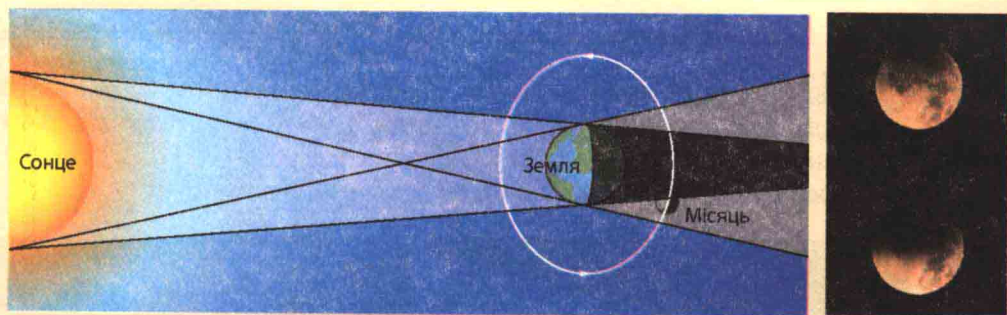


Рис. 3.18. Коли Місяць потрапляє в зону тіні від Землі, настає місячне затемнення

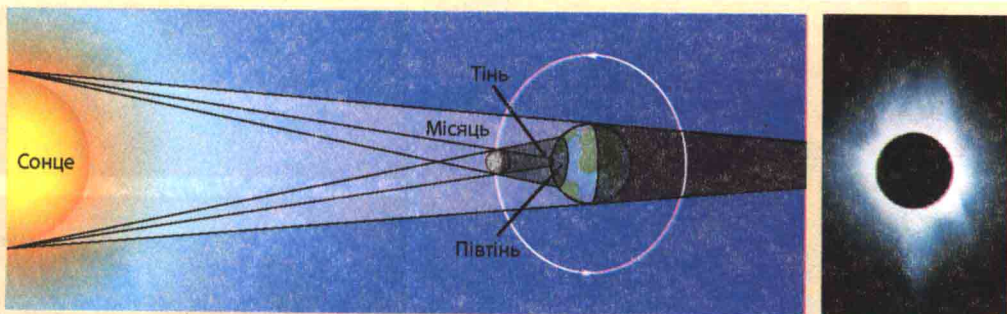


Рис. 3.19. Якщо Місяць опиняється між Сонцем і Землею, то повна тінь і півтінь від Місяця падають на Землю. Настає сонячне затемнення



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

У прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно. Лінія, що вказує напрямок поширення світлового пучка, називається світловим променем.

У результаті того що світло поширюється прямолінійно, непрозорі тіла відкидають тінь (повну тінь і півтінь).

Повна тінь — область простору, в яку не потрапляє світло від джерела (джерел) світла. Півтінь — це область простору, освітлена деякими з кількох найближчих точкових джерел світла або частиною протяжного джерела.

Під час сонячних і місячних затемнень ми спостерігаємо утворення тіні й півтіні в космічних масштабах.



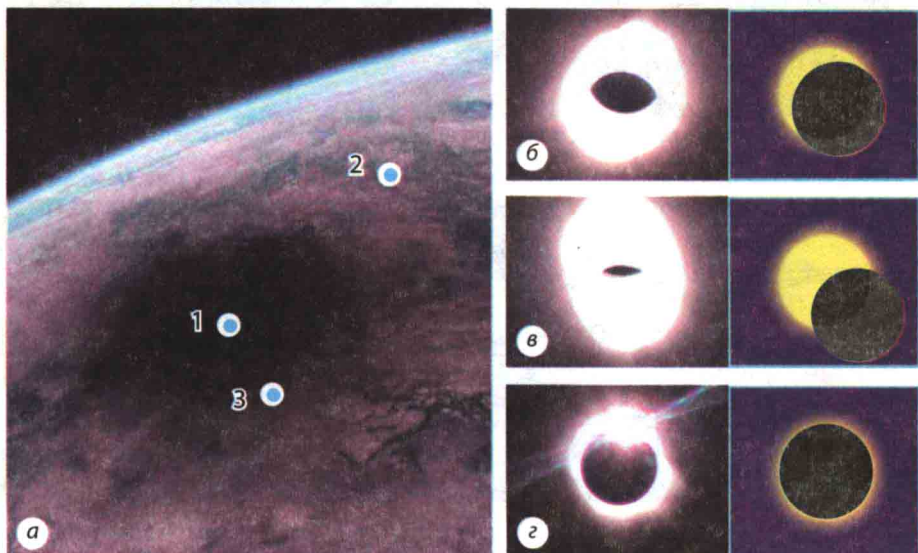
Контрольні запитання

1. Що називають світловим променем?
2. У чому полягає закон прямолінійного поширення світла?
3. Якими дослідami можна довести прямолінійність поширення світла?
4. Які явища підтверджують прямолінійність поширення світла?
5. За яких умов предмет утворюватиме тільки повну тінь, а за яких — повну тінь і півтінь?
6. За яких умов виникають сонячні та місячні затемнення?



Вправи

1. Під час сонячного затемнення на поверхні Землі утворюються тінь і півтінь Місяця (рисунок *a*). Рисунки *б, в, г* — фотографії цього сонячного затемнення, зроблені з різних точок Землі. Яку фотографію зроблено в точці 1 рисунка *a*? у точці 2? у точці 3?



2. Космонавт, перебуваючи на Місяці, спостерігає Землю. Що побачить космонавт у той момент, коли на Землі буде повне місячне затемнення? часткове затемнення Місяця?
3. Як необхідно освітлювати операційну, щоб тінь від рук хірурга не застувала операційного поля?
4. Чому літак, що летить на великій висоті, не утворює тіні навіть сонячного дня?



Експериментальні завдання

1. На відстані 30—40 см від запаленої свічки або настільної лампи розташуйте екран. Між екраном і свічкою горизонтально помістіть олівець. Змінюючи відстань між олівцем і свічкою, спостерігайте зміни, що відбуваються на екрані. Опишіть і поясніть свої спостереження.
2. Запропонуйте спосіб, як, використовуючи шпильки, можна перевірити, чи є лінія, проведена на картоні, прямою.
3. Станьте увечері неподалік від вуличного ліхтаря. Уважно роздивіться свою тінь. Поясніть результати спостереження.

Фізика й техніка в Україні



Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), заснований у 1930 році, за концентрацією науково-технічного та науково-педагогічного потенціалу в галузі радіоелектроніки, телекомунікацій, інформаційних технологій та обчислювальної техніки не має собі рівних в Україні та країнах СНД.

Унікальні наукові результати роботи вчених університету сприяли розвитку десятків нових наукових напрямів, закріпивши пріоритет вітчизняної науки в ряді найважливіших галузей народного господарства та оборонної сфери. Перш за все це стосується досліджень навколо-

земного простору. Завдяки створеним ученими університету вимірювальним комплексам, що не мають аналогів у країнах СНД, укладено найповніший у світі каталог метеоритних частинок у навколоземному просторі, здійснено високоточну прив'язку під час запуску першого українського супутника «Січ-1», побудовано глобальну модель техногенних домішок у стратосфері та мезосфері Землі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9



Тема. Виготовлення найпростішого оптичного пристрою.

Мета роботи: розібратись у принципі дії камери-обскури, виготовити камеру-обскуру й одержати за її допомогою зображення світного об'єкта.

Обладнання: картонна коробка, напівпрозорий папір (пергамент, калька), канцелярська кнопка, клей, ножиці, свіча (одна на клас).

Теоретичні відомості

Камера-обскура (або, як її інколи називають, *пінхол-камера*) — один із найпростіших оптичних пристроїв*.

Схему дії цього пристрою знайдено в роботах давньогрецького філософа Арістотеля (IV ст. до н. е.), а також китайського філософа *Мо Ti* (V ст. до н. е.). Камеру-обскуру вважають попередницею сучасного фотоапарата.

Камера-обскура являє собою скриньку, в одній зі стінок якої є невеликий отвір, а на протилежній стінці — напівпрозорий екран. Стінку з отвором

* Камера-обскура — від лат. *camera* — кімната, *obscura* — темна. У сучасних музеях науки камера-обскура являє собою кімнату, куди можуть заходити глядачі. Пінхол-камера — від англ. *pinhole camera* — камера з отвором.

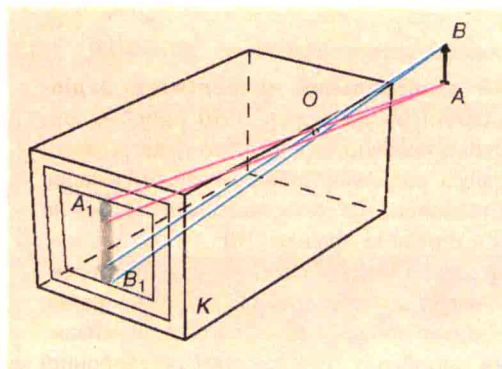


Рис. 1.

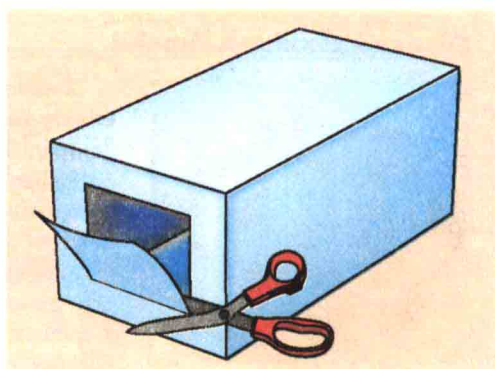


Рис. 2.

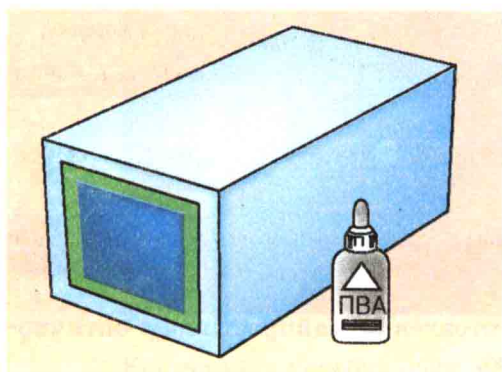


Рис. 3.

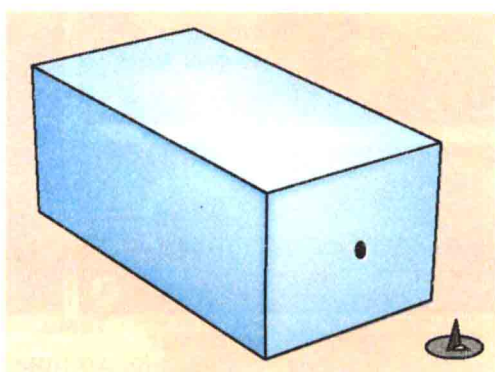


Рис. 4.

називають *передньою*, бо саме її звертають до розглядуваного об'єкта. Стінка з екраном, на якому виходить зображення об'єкта, називається *задньою*.

Дія камери-обскури ґрунтується на законі *прямолінійного поширення світла*.

На рис. 1 ви бачите об'єкт AB і його зображення A_1B_1 , одержане на екрані камери-обскури K . Від кожної точки об'єкта AB через отвір O проходить вузький пучок світла (щоб не перевантажувати рисунок, показано світлові пучки, які йдуть тільки від крайніх точок об'єкта — A і B). Кожен із цих пучків створює на екрані світлу цятку, форма якої збігається з формою отвору. Такі цятки, накладаючись одна на одну, утворюють на екрані картину, що відтворює контури й деталі об'єкта. Цю картину називають *оптичним зображенням об'єкта*.

Необхідно зазначити, що на *чіткість одержаного зображення впливає розмір отвору* в передній стінці камери. Максимальної чіткості зображення вдається досягти, коли кожна крапка зображується знов-таки у вигляді крапки. Тобто що меншого розміру цятки виходять на екрані, то різкішим є зображення об'єкта.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

Перш ніж розпочати виготовлення камери-обскури, приготуйте необхідні матеріали: картонну коробку, наприклад із-під чаю або соку, напівпрозорий папір (кальку або пергамент), клей, ножиці, канцелярську кнопку.

Експеримент

1. Візьміть картонну коробку й виріжте в одній із її стінок невелике віконце для екрана (рис. 2).
2. Завершіть виготовлення задньої стінки камери-обскури, заклеївши віконце калькою (рис. 3).
3. На протилежній стінці коробки за допомогою канцелярської кнопки зробіть отвір діаметром приблизно 1 мм (рис. 4). Найпростіша камера-обскура готова!
4. У затемненому приміщенні наведіть камеру на запалену свічу й отримайте зображення полум'я на екрані.
5. Роздивіться зображення. Зверніть увагу на те, яким є це зображення: прямим чи перевернутим, збільшеним чи зменшеним, чітким чи розмитим.
6. Опишіть одержане зображення.

Аналіз результатів експерименту

Зробіть висновок, у якому зазначте назву виготовленого вами оптичного пристрою, а також те, у чому полягає принцип дії цього пристрою, на якому законі оптики цей принцип дії ґрунтується.

Додаткове завдання

1. Дослідіть, як впливає розмір отвору в передній стінці камери-обскури на якість зображення.

Для цього:

- а) розширте вхідний отвір камери до 15 мм;
 - б) підготуйте окремі аркуші картону з отворами 3 мм, 5 мм і 10 мм;
 - в) по черзі приставляючи до передньої стінки камери аркуші картону з отворами різного діаметра, спостерігайте за чіткістю зображення.
- Зробіть висновок, проілюструвавши його пояснювальним рисунком.

2. Удоскональте свій прилад так, щоб екран можна було пересувати, наближаючи або віддаляючи його від отвору. Для цього скористайтесь такою самою або більшою за розміром коробкою.

§ 21. ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА

■ Більшість об'єктів, що нас оточують, — будинки, дерева, наші однокласники тощо — не є джерелами світла. Проте ми їх бачимо. Відповідь на запитання «Чому так?» ви знайдете в цьому параграфі.



Рис. 3.20. За відсутності джерела світла неможливо нічого побачити. Якщо ж з'являється джерело світла, то ми бачимо не тільки саме джерело, а й предмети, які відбивають світло, що йде від джерела

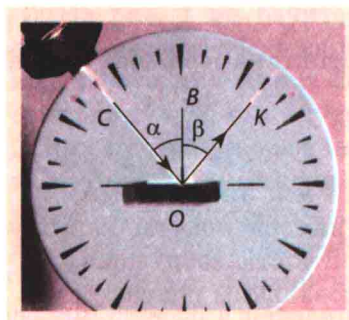


Рис. 3.21. Установлення законів відбивання світла за допомогою оптичної шайби

1 З'ясовуємо, чому ми бачимо тіла, що не є джерелами світла

Ви вже знаєте, що світло в однорідному прозорому середовищі поширюється прямолінійно. Якщо ж на шляху поширення пучка світла розташоване будь-яке тіло, то світло частково відбивається від нього за певними законами. Деякі відбиті промені потрапляють у наші очі, і ми бачимо це тіло (рис. 3.20).

2 Установлюємо закони відбивання світла

Для встановлення законів відбивання світла скористаємося спеціальним приладом — *оптичною шайбою**. Спочатку закріпимо дзеркало в центрі оптичної шайби. Потім спрямуємо на дзеркало вузький пучок світла від освітлювача так, щоб він давав на поверхні шайби світлу смужку. Ми побачимо, що відбитий пучок також дасть на поверхні шайби світлу смужку (рис. 3.21).

Задамо напрямок пучка світла, який падає, променем CO . Цей промінь називають *падаючим променем*. Промінь OK , який задає напрямок пучка світла, що відбивається, називають *відбитим променем*.

Із точки O падіння променя поставимо перпендикуляр OB до поверхні дзеркала, на яку падає світло. Зверніть увагу на те, що перпендикуляр OB , падаючий промінь CO та відбитий промінь OK лежать у площині поверхні шайби.

Кут α , утворений падаючим променем CO і перпендикуляром OB , називають *кутом падіння*.

* Оптична шайба — це білий диск, по колу якого нанесено поділки, а на краї встановлено освітлювач.

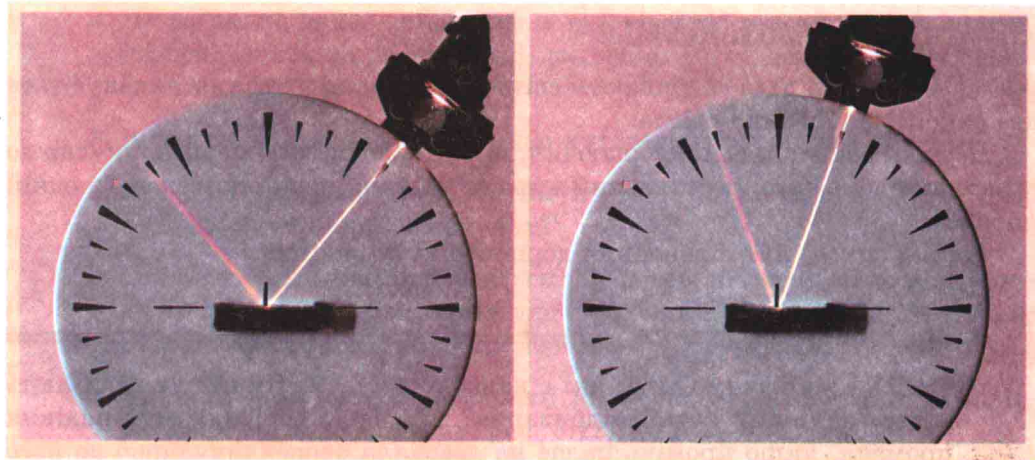


Рис. 3.22. Якщо змінювати кут падіння світлового пучка, відповідно змінюватиметься кут його відбивання. Кут падіння і кут відбивання щоразу будуть рівними

Кут β , утворений відбитим променем ОК і перпендикуляром ОВ, називають кутом відбивання.

Якщо виміряти кут α і кут β , то можна переконатися, що ці кути є рівними. Пересуваючи джерело світла краєм диска, змінимо кут падіння світлового пучка. Відповідно зміниться й кут відбивання (рис. 3.22). Пересуваючи джерело світла далі і вимірюючи час від часу кути падіння й відбивання світла, переконаємося: вони щоразу є рівними.

Отже, ми встановили **закони відбивання світла**:

Перший закон: промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, поставлений з точки падіння променя, лежать в одній площині.

Другий закон: кут падіння світла дорівнює куту відбивання.

Закони відбивання світла ще в III ст. до нашої ери встановив *Евклід*.

3 Демонструємо оборотність світлових променів

За допомогою дзеркала на оптичній шайбі можна продемонструвати також оборотність світлових променів. Якщо падаючий промінь спрямувати шляхом відбитого променя, то відбитий промінь піде шляхом падаючого (рис. 3.23).

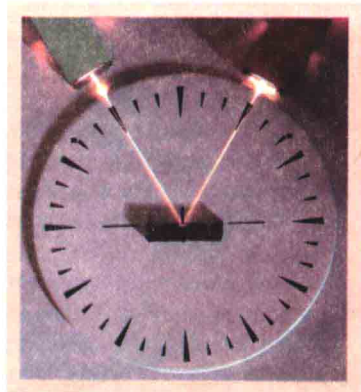


Рис. 3.23. Демонстрація оборотності світлових променів за допомогою дзеркала. Бачимо, що відбитий промінь іде шляхом падаючого променя



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Усі видимі тіла відбивають світло. Під час відбивання виконуються два закони відбивання світла.

Перший закон: промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, поставлений з точки падіння променя, лежать в одній площині.

Другий закон: кут відбивання дорівнює куту падіння.



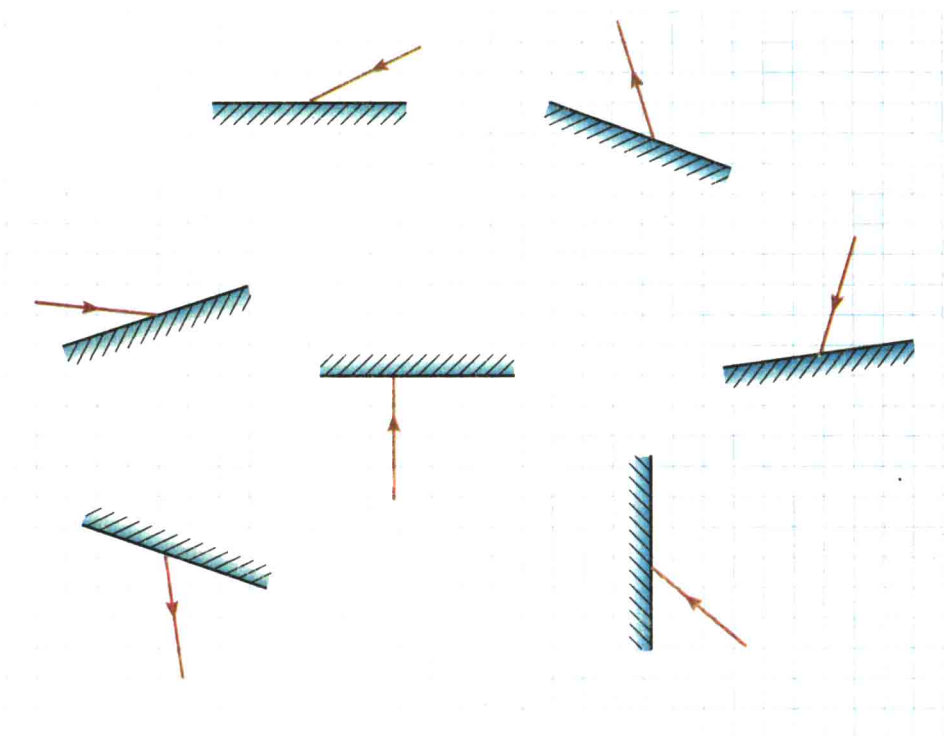
Контрольні запитання

1. Чому ми бачимо тіла, які є навколо нас? **2.** Який кут називають кутом падіння? кутом відбивання? **3.** Чому дорівнює кут падіння променя, якщо промінь падає на дзеркало перпендикулярно до його поверхні? **4.** Сформулюйте закони відбивання світла. **5.** За допомогою якого приладу можна перекоонатись у справдженні законів відбивання світла? **6.** У чому полягає властивість оборотності світлових променів?



Вправи

1. Перенесіть рисунок до зошита, побудуйте для кожного випадку падаючий або відбитий промінь. Позначте кути падіння й відбивання.



2. На дзеркало падає пучок світла від лазерної указки, розташованої перпендикулярно до поверхні дзеркала. Чому дорівнює кут відбивання цього пучка?
3. Визначте кут відбивання, якщо кут падіння дорівнює 30° .
4. Кут між падаючим і відбитим променями становить 80° . Чому дорівнює кут падіння променя?
5. Сонячний промінь відбивається від поверхні озера. Кут між падаючим променем і горизонтом удвічі більший, ніж кут між падаючим і відбитим променями. Чому дорівнює кут падіння променя?
6. Завдяки чому можна побачити контури пучка світла, що поширюється крізь хмари (див. рис. 3.12)?



Експериментальне завдання

Це завдання краще виконувати ввечері, після заходу сонця. Вашим «помічником» при цьому буде «світловий зайчик».

Залиште в напівтемній кімнаті тільки одне джерело світла — настільну лампу. Візьміть маленьке дзеркало, піднесіть його до лампи й розташуйте так, щоб на одній зі стін кімнати з'явився «світловий зайчик». Змінюючи нахил та розташування дзеркала, зробіть так, щоб «зайчик» «перестрибнув» на інші стіни, на стелю, за шафу; «заліз» усередину глибокої вази та допоміг вам побачити її дно.

Поясніть результати своїх дослідів, виконавши відповідні схематичні рисунки.

Фізика й техніка в Україні

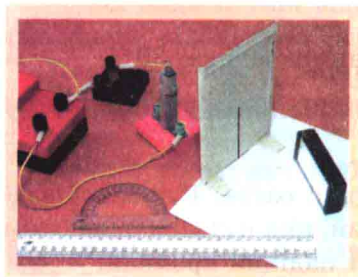


Науково-виробниче підприємство «Карат» (Львів)

Є провідним в Україні спеціалізованим підприємством у галузі матеріалів для електроніки. Координує основні напрямки розвитку галузі й веде ряд важливих державних науково-технічних програм.

НВП «Карат» — підприємство з повністю закінченим циклом «пошук — дослідження — розроблення — серійне виробництво», що володіє технологіями виробництва матеріалів і пристроїв для оптоелектроніки, квантової електроніки та оптики, акусто-, магніто- та кріоелектроніки, керамічних матеріалів електронної техніки, різноманітних технологічних матеріалів; фундаментальних фізико-хімічних досліджень; випробування, тестування й сертифікації матеріалів в акредитованій Держстандартом України лабораторії.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10



Тема. Вивчення закону відбивання світла за допомогою плоского дзеркала.

Мета роботи: експериментально перевірити закон відбивання світла.

Обладнання: лінійка, транспортер, олівець, джерело світла, плоске дзеркало, екран зі щілиною, чистий білий аркуш.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

Установіть екран зі щілиною на білий аркуш. Дослідним шляхом визначте таке розташування джерела світла відносно екрана, за якого смужка світла на папері буде найбільш тонкою, виразною і яскравою. Потім поперек цієї смужки поставте на ребро плоске дзеркало. У разі правильного розташування приладів відбитий від дзеркала пучок світла дасть на папері слід у вигляді світлої смуги.

Експеримент

1. Добре заточеним олівцем накресліть на папері лінію вздовж дзеркала. Позначте промінь, що падає на дзеркало, та відбитий промінь.
2. Із точки падіння променів проведіть перпендикуляр до лінії вздовж дзеркала. Виміряйте кут падіння й кут відбивання.
3. Повторіть дослід кілька разів, установлюючи дзеркало під різними кутами до падаючого променя.

Оброблення результатів експерименту

Результати вимірювань занесіть до таблиці.

Номер досліду	Кут падіння, град	Кут відбивання, град
1		
2		
3		

Аналіз результатів експерименту

1. Порівняйте одержані значення кутів падіння і відбивання.
2. Зробіть висновок.

§ 22. ПЛОСКЕ ДЗЕРКАЛО.

ДЗЕРКАЛЬНЕ І РОЗСІЯНЕ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА

■ Пам'ятаєте мультфільм (казку) про Крихітку Єнота, який хотів дістатися на другий берег ставка, але страшенно боявся Того, Хто Сидить у Ставку? Єнот робив по-всякому: і погрожував йому кулаком, і замахувався дрючком — усе марно. Щоразу Той, Хто Сидить у Ставку, відповідав Крихітці тим самим. І тільки усмішка розв'язала всі проблеми. У відповідь на усмішку Крихітки Єнота Той, Хто Сидить у Ставку, теж усміхнувся. Ви, звичайно, здогадалися, що в ставку Єнот бачив своє відображення.

1 Будемо зображення в плоскому дзеркалі

Кожного разу, підходячи до дзеркала, ми, як і Крихітка Єнот, бачимо в ньому свого «двійника». Звісно, ніякого «двійника» там немає — ми говоримо, що бачимо у дзеркалі своє зображення.

Розгляньмо, як утворюється зображення в плоскому дзеркалі.

Нехай із точкового джерела світла S на поверхню плоского дзеркала падає розбіжний пучок світла. Із множини променів, що падають, виділимо промені SO , SA , SB (рис. 3.24).

Користуючись законами відбивання світла, побудуємо відбиті промені OO_1 , AA_1 , BB_1 . Ці промені підуть розбіжним пучком. Якщо продовжити їх у протилежному напрямку, за дзеркало, усі вони перетнуться в одній точці — S_1 , що розташована за дзеркалом.

Нам буде здаватися, що ці промені виходять із точки S_1 , хоча в дійсності ніякого джерела світла в точці S_1 не існує. Тому точку S_1 називають *уявним зображенням точки S* . Плоске дзеркало завжди дає уявне зображення. (Дійсне зображення можна одержати, наприклад, за допомогою збиральної лінзи, з якою ви познайомитеся трохи згодом, або малого отвору.)

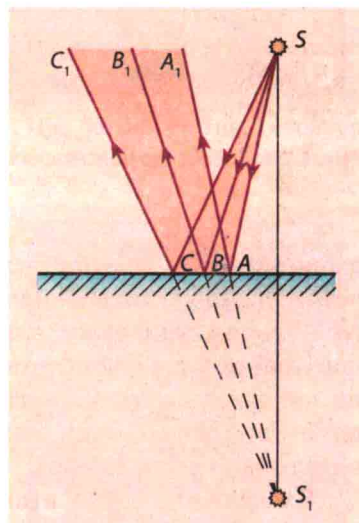


Рис. 3.24. Одержання зображення точкового джерела світла S у плоскому дзеркалі

2 Вивчаємо зображення в плоскому дзеркалі

Проведемо дослід, за допомогою якого з'ясуємо, як розташовані предмет і його зображення відносно дзеркала. Нехай у ролі



Рис. 3.25. Дослід, що пояснює особливості зображення предмета у плоскому дзеркалі

дзеркала буде плоске скло, закріплене вертикально. З одного боку скла встановимо палаючу свічку (у склі з'явиться її зображення), а з другого — точно таку саму, але не запалену (рис. 3.25, а). Пересуваючи незапалену свічку, знайдемо таке її розташування, що ця свічка, якщо дивитися на неї крізь скло, здаватиметься палаючою (рис. 3.25, б). У цьому випадку незапалена свічка виявиться в місці, де спостерігається зображення в склі запаленої свічки.

Схематично зобразимо на папері місце розташування скла (пряма MN), запаленої та незапаленої свічок: S — запалена свічка, S_1 — незапалена свічка (точка S_1 у нашому випадку показує також місце розташування зображення запаленої свічки) (рис. 3.25, в). Якщо тепер сполучити точки S і S_1 та провести необхідні вимірювання, то переконаємося, що пряма MN є перпендикулярною до відрізка SS_1 , а довжина відрізка SO дорівнює довжині відрізка S_1O .

Завдяки описаному досліді (а також безлічі інших, спрямованих на вивчення процесу відбивання світла) можна встановити загальні характеристики зображень у плоских дзеркалах:

- 1) *плоске дзеркало дає уявне зображення предмета;*
- 2) *зображення предмета в плоскому дзеркалі дорівнює за розміром самому предмету й розташоване на тій самій відстані від дзеркала, що й предмет;*
- 3) *пряма, яка сполучає точку на предметі з відповідною їй точкою на зображенні предмета в дзеркалі, є перпендикулярною до поверхні дзеркала.*

3 *Розрізняємо дзеркальне і розсіяне відбивання світла

Увечері, коли в кімнаті горить світло, ми можемо бачити своє зображення у віконному склі. Але зображення зникає, якщо зсунути штори: дивлячись на тканину, ми свого зображення не побачимо. То чим у цьому випадку відрізняється штора від скла і чому в ній не можна побачити свого зображення?

Відповідь на ці запитання пов'язана щонайменше з двома фізичними явищами. Перше з них — **відбивання світла**. Щоб з'явилося зображення, світло має відбитися від поверхні *дзеркально*. Після дзеркального відбивання світла, що надходить від точкового джерела S , продовження відбитих променів зберуться в одній точці S_1 , яка й буде зображенням точки S (рис. 3.26, а). Такий вид відбивання можливий не від усіх поверхонь, а тільки від дуже гладеньких. Така поверхня відбивання називається *дзеркальною* (рис. 3.26, б, в). Крім звичайного дзеркала, прикладами дзеркальних поверхонь є скло автомобілів, вітрин магазинів, поліровані меблі, ложки та леза ножів з іржестійкої сталі, спокійна поверхня води (як у випадку з Крихіткою Єнотом) тощо.

Якщо світло відбивається від нерівної, шорсткої поверхні, то таке відбивання називають *розсіяним*. У цьому випадку відбиті промені ніколи не зійдуться в одній точці й ніколи не зійдуться в одній точці їх продовження (рис. 3.27, а). Таким чином, у такій поверхні не можна отримати зображення. Прикладів поверхонь, що розсіюють світло, зрозуміло, набагато більше, ніж дзеркальних. Це і бетонна стіна, і стовбур

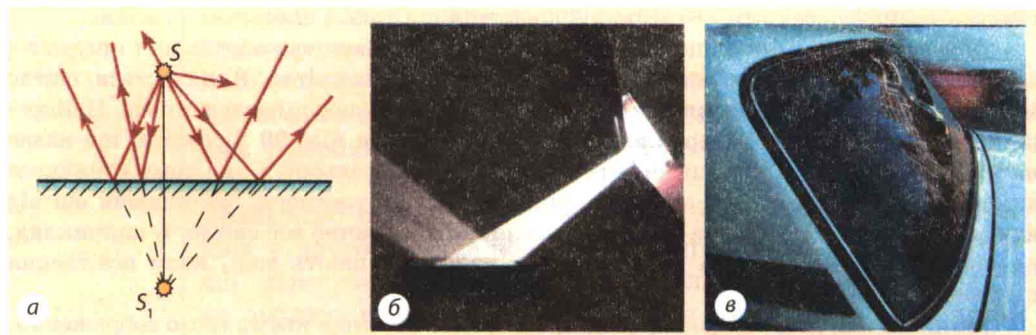


Рис. 3.26. Дзеркальне відбивання світла — відбивання світла від гладенької поверхні

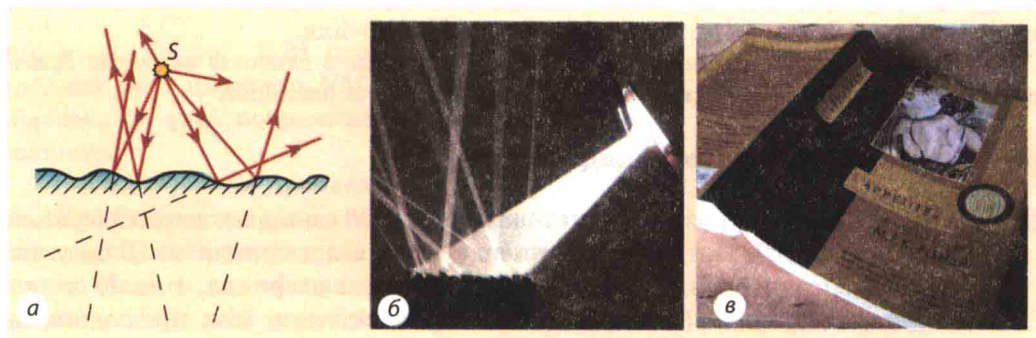


Рис. 3.27. Розсіяне відбивання світла — відбивання світла від нерівної, шорсткої поверхні

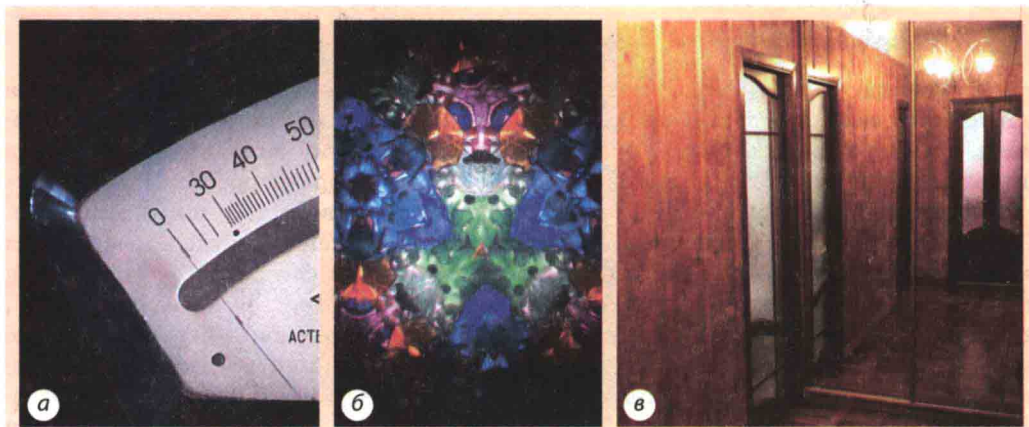


Рис. 3.28. Використання плоских дзеркал: *а* — застосування дзеркальної смуги в точних електровимірjuвальних приладах (у разі правильного відліку стрілка і її дзеркальне зображення зливаються); *б* — калейдоскоп (багаторазове відбивання в дзеркалах дрібних різнобарвних скелець веде до творення надзвичайно красивих візерунків, що змінюються внаслідок повертання калейдоскопа); *в* — дзеркало (зорово розширює простір)

дерева, і асфальтоване шосе. Навіть деякі гладенькі на дотик поверхні, наприклад шматок пластику або обкладинка книги (рис. 3.27, *б*, *в*), для світла є недостатньо гладенькими, шорсткими — світло відбивається від таких поверхонь розсіяно.

Друге фізичне явище, що впливає на можливість бачити зображення предметів за допомогою будь-яких фізичних тіл, — це **поглинання світла**. Виявляється, світло може не тільки відбиватися від фізичних тіл, але й поглинатися ними. Найкращий відбивач світла — дзеркало: воно відбиває більш ніж 90 % світла, що падає на нього. Добрими відбивачами є також тіла білого кольору. Саме тому сонячного зимового дня, коли все навколо біле від снігу, ми мружимося, захищаючи очі від яскравого світла. А от чорна поверхня поглинає практично все світло, і, наприклад, на чорний оксамит можна дивитися не мружачись навіть тоді, коли освітлення є дуже яскравим.

Білий аркуш добре відбиває світло, але ми не бачимо в ньому свого зображення, тому що поверхня паперу шорстка, отже, в цьому разі маємо справу з розсіяним відбиванням світла. А от поверхня чорного автомобіля в основному поглинає світло, але деяку його частину відбиває, причому дзеркально, бо поверхня автомобіля полірована, тобто досить гладенька. Саме тому ми можемо бачити своє зображення, щоправда, не дуже яскраве, у поверхні чорного автомобіля.

Дзеркальні поверхні широко використовуються ще з глибокої давнини. Деякі з прикладів застосування дзеркал сьогодні показано на рис. 3.28.

4 Вчимося розв'язувати задачі

Задача 1. Предмет був розташований на відстані 30 см від плоского дзеркала (позиція 1). Потім предмет пересунули від дзеркала на 10 см у напрямку, перпендикулярному до поверхні дзеркала, і на 15 см — паралельно їй (позиція 2). Яка була відстань між предметом та його зображенням у позиції предмета 1 і якою вона стала в позиції 2?

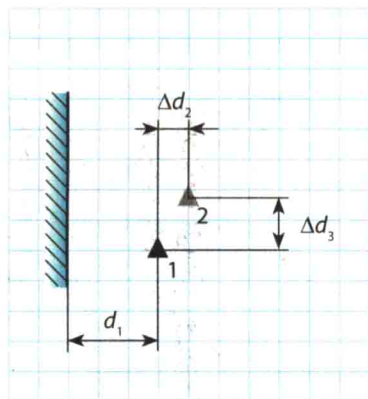


Рис. 3.29

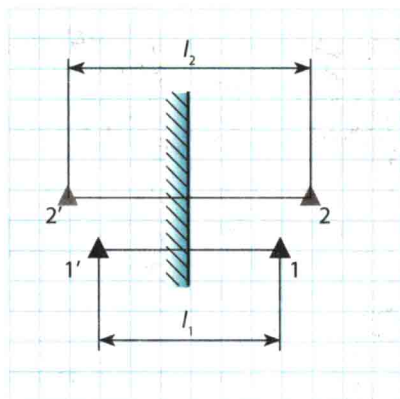


Рис. 3.30

Дано:

$$d_1 = 30 \text{ см}$$

$$\Delta d_2 = 10 \text{ см}$$

$$\Delta d_3 = 15 \text{ см}$$

$$l_1 = ?$$

$$l_2 = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

Зробимо пояснювальне креслення, де позначимо відомі нам відстані (рис. 3.29). Знайдемо місце розташування зображення предмета для кожної із зазначених позицій предмета, ґрунтуючись на тому, що зображення предмета в плоскому дзеркалі розташоване на тій самій відстані від дзеркала, що і сам предмет (рис. 3.30).

Розв'язання

Визначимо відстань l_1 — між предметом та його зображенням у першому випадку (позиція предмета 1):

$$l_1 = 2d_1; \quad l_1 = 2 \cdot 30 \text{ см} = 60 \text{ см}.$$

Визначимо відстань l_2 — між предметом та його зображенням у другому випадку (позиція предмета 2), враховуючи, що пересування предмета паралельно поверхні дзеркала не змінює відстані між предметом та його зображенням:

$$l_2 = 2(d_1 + \Delta d_2); \quad l_2 = 2(30 \text{ см} + 10 \text{ см}) = 80 \text{ см}.$$

Відповідь: відстань від предмета до його зображення в позиції 1 дорівнює 60 см, у позиції 2 — 80 см.

Задача 2. На рис. 3.31 схематично зображено предмет BC і дзеркало NM . Знайдіть графічно область, із якої зображення предмета видно повністю.

Аналіз фізичної проблеми

Щоб бачити зображення певної точки предмета в дзеркалі, необхідно, щоб в око спостерігача відбилась хоча б частина з тих променів, які падають із цієї точки на дзеркало.

У нашому випадку в око мають відбитися промені, що виходять із крайніх точок предме-

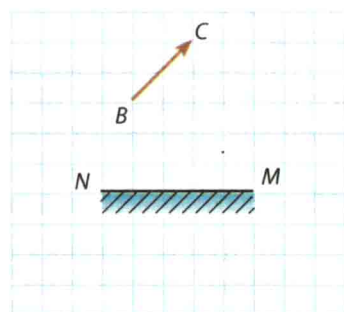


Рис. 3.31

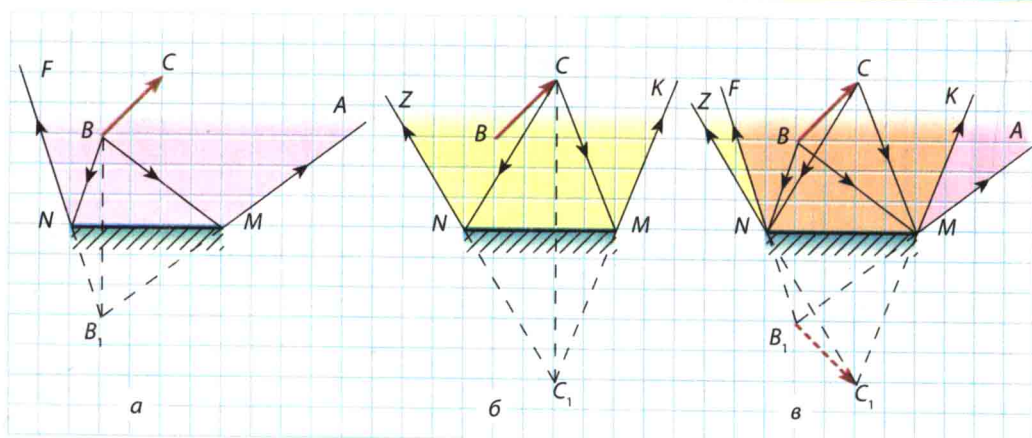


Рис. 3.32

та BC (зрозуміло, що за цієї умови в око відбиваються і промені, що виходять із усіх точок предмета).

Розв'язання та аналіз результатів

1. Побудуємо промені BM і BN , які падають на крайні точки дзеркала MN із точки B (рис. 3.32, а). Ці промені обмежують пучок усіх променів, що після відбивання в дзеркалі підуть розбіжним пучком і дадуть на своєму продовженні точку B_1 , яка є зображенням точки B у плоскому дзеркалі. Область, обмежена поверхнею дзеркала та променями, відбитими від крайніх точок дзеркала (промені MA і NF), і буде областю, з якої видно зображення B_1 точки B у дзеркалі.

2. Аналогічно побудувавши зображення C_1 точки C у дзеркалі, знайдемо область, із якої видно це зображення (рис. 3.32, б).

3. Бачити зображення всього предмета спостерігач може тільки в тому випадку, якщо в його око потрапляють промені, що дають обидва зображення — B_1 і C_1 (рис. 3.32, в). Отже, оранжева область — це область, із якої зображення предмета видно повністю.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Зображення предмета в плоскому дзеркалі є уявним, дорівнює за розміром предмету, розташоване на такій же відстані від дзеркала, що й сам предмет.

Розрізняють дзеркальне і розсіяне відбивання світла. У випадку дзеркального відбивання ми можемо бачити зображення предмета в дзеркалі, у випадку розсіяного відбивання зображення не спостерігається.



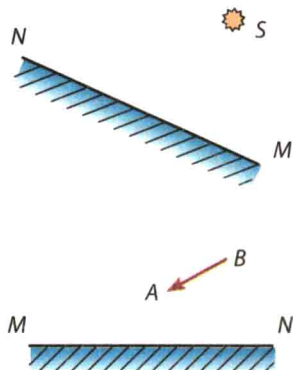
Контрольні запитання

1. Яке відбивання світла називається дзеркальним?
2. У якому випадку зображення називають уявним?
3. Які характеристики має зображення предмета в плоскому дзеркалі?
4. Чим розсіяне відбивання світла відрізняється від дзеркального?



Вправи

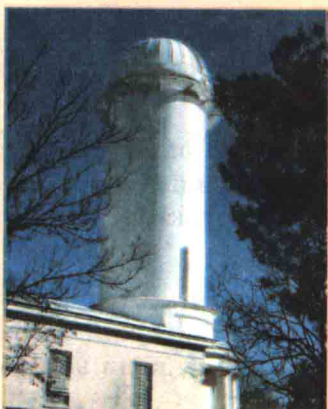
1. Людина стоїть на відстані 1,5 м від плоского дзеркала. На якій відстані від людини розташоване її зображення? Схарактеризуйте це зображення.
2. Водій автомобіля, глянувши в дзеркало заднього огляду, побачив у ньому пасажирів, який сидить на задньому сидінні. Чи може пасажир у цей момент, дивлячись у те саме дзеркало, побачити водія?
3. Ви прямуєте до дзеркальної вітрини зі швидкістю 4 км/год. З якою швидкістю до вас наближається ваше зображення? На скільки скоротиться відстань між вами і вашим зображенням, коли ви пройдете 2 м?
4. Уявіть, що сидить перед дзеркалом, підняте праве вухо. Яке вухо підняте у зображення? Що сидить в дзеркалі?
5. На рисунку зображено світну точку S і дзеркало MN . Побудуйте зображення точки в дзеркалі, укажіть область, із якої видно це зображення. Які зміни спостерігатимуться, якщо дзеркало поступово закрутити неперпендикулярно до площини падаючого променя?
6. Побудуйте зображення відрізка AB у плоскому дзеркалі MN (див. рисунок). Знайдіть графічно область, із якої відрізок видно повністю.
7. Узимку, коли земля вкрита снігом, місячні ночі набагато світліші. Чому?
8. Чому вночі у світлі фар автомобіля калюжа на асфальті здається водієві темною плямою на світлішому тлі?
9. Уявіть, що поверхні всіх тіл відбивають світло дзеркально. Що б ми побачили навколо?



Експериментальне завдання

Візьміть будь-який предмет (наприклад олівець) і два плоских дзеркала. Розташуйте дзеркала під прямим кутом відбиваючими поверхнями одне до одного і покладіть між ними предмет. З'ясуйте, скільки зображень предмета можна дістати за допомогою такої системи дзеркал. Результат досліду поясніть за допомогою схематичного рисунка. Як змінюватиметься кількість зображень предмета в разі збільшення (зменшення) кута між дзеркалами?

Фізика й техніка в Україні



Кримська (Симеїзька) обсерваторія

На початку ХХ століття астрономія впритул підійшла до вивчення фізичної природи зір. Виникла нова галузь науки — астрофізика. Проте з'ясувалося, що для астрофізичних досліджень головна обсерваторія Російської імперії (Пулковська в Петербурзі) є непридатною через погодні умови: темними зимовими ночами небо майже завжди закрито хмарами, а влітку, в період «білих ночей», воно настільки світле, що неможливо застосувати основний метод астрофізики — спектроскопію зір.

Тому було створено обсерваторію на півдні — Кримську (Симеїзьку). Спочатку основним напрямом її роботи було спостереження малих планет. Хоч обсерваторія в Симеїзі мала дуже маленький астрограф, за числом спостережень малих планет і відкритих астероїдів вона посідала

друге місце у світі, поступаючись лише Гейдельберзькій обсерваторії (Німеччина).

Після Другої світової війни головним телескопом обсерваторії став рефлектор із дзеркалом діаметром 2,5 м. Він почав працювати в 1961 році й згодом отримав ім'я свого розробника — академіка Г. А. Шайна. Успішна робота автоматичних систем на телескопі Шайна та інших телескопах Кримської обсерваторії привела до ідеї створення повністю автоматизованого телескопа із дзеркалом діаметром 1,25 м, що став до ладу в 1980 році.

Нині обсерваторія бере участь у міжнародній програмі «Спектр», дослідження якої охоплюють дуже широкий діапазон хвиль — від рентгенівських до радіохвиль.

§ 23. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

■ Чому ложка, опущена в склянку з водою, здається нам зламаною на межі повітря і води? Що таке оптична густина середовища? Як поводить ся світло, переходячи з одного середовища в інше? Про все це ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Проводимо досліді із заломлення світла

Проведемо такий експеримент. Спрямуємо на поверхню води в широкій посудині вузький пучок світла під деяким кутом до поверхні. Ми помітимо, що в точках падіння промені не тільки відбиваються від поверхні води, а й частково проходять у воду, змінюючи при цьому свій напрямок (рис. 3.33).

Зміну напрямку поширення світла в разі його проходження через межу поділу двох середовищ називають **заломленням світла**.

Першу згадку про заломлення світла можна знайти в працях давньогрецького філософа *Арістотеля*, який ставив собі питання: чому палиця у воді здається переламаною? А в одному з давньогрецьких трактатів

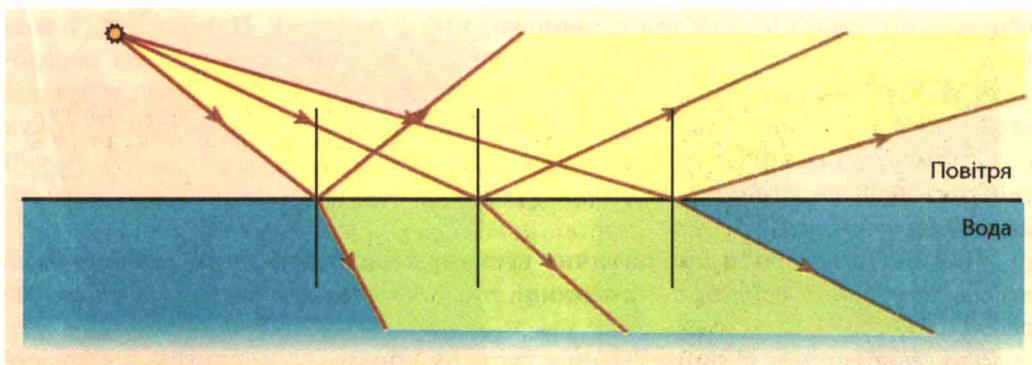


Рис. 3.33. Схема досліду з демонстрації заломлення світла. Переходячи з повітря у воду, промінь світла змінює свій напрямок, зміщуючись до перпендикуляра, поставленого в точці падіння променя

описано такий дослід: «Потрібно стати так, щоб пласке кільце, покладене на дно посудини, сховалося за її краєм. Потім, не змінюючи положення очей, налити в посудину воду. Промінь світла заломиться на поверхні води, і кільце стане видимим». Аналогічний дослід проілюстровано на рис. 3.34.

2 З'ясуємо причину заломлення світла

То чому ж світло, переходячи з одного середовища в інше, змінює свій напрямок?

Ми вже знаємо, що світло у вакуумі поширюється хоч і з величезною, проте скінченною швидкістю — близько 300 000 км/с. У будь-якому іншому

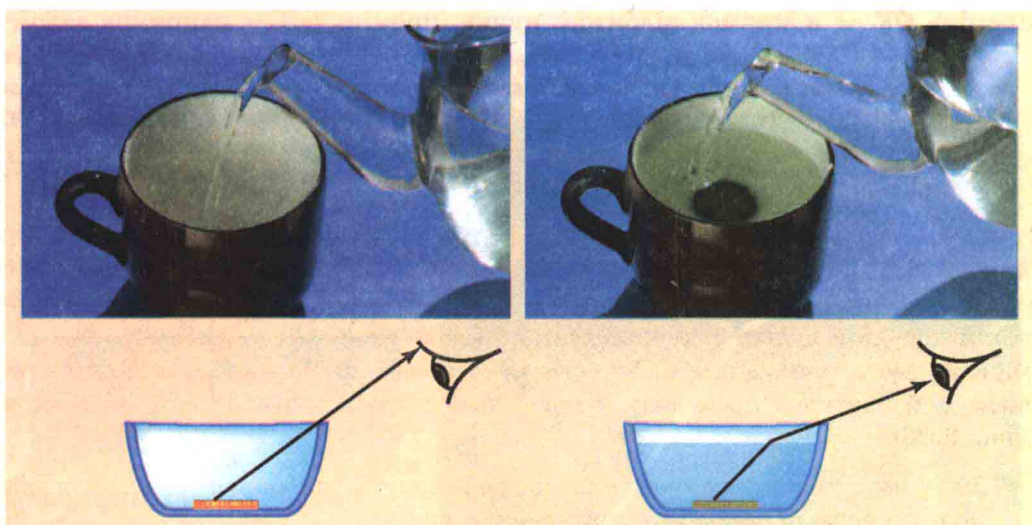


Рис. 3.34. На рисунку та схемі ліворуч у чашці немає води; пучок світла, відбитий монетою, не потрапляє в око спостерігачеві, тому той монети не бачить. На рисунку та схемі праворуч у чашку налито воду; відбите монетою світло, заломлюючись на межі «вода — повітря», сягає ока спостерігача — його око розташоване так само, як і доти, проте монета стає для спостерігача видимою

середовищі швидкість світла є меншою, ніж у вакуумі. Наприклад, у воді швидкість світла в 1,33 разу менша, ніж у вакуумі; коли світло переходить із води в алмаз, його швидкість зменшується ще в 1,8 разу; у повітрі швидкість поширення світла у 2,4 разу більша, ніж в алмазі, і лише трохи ($\approx 1,0003$ разу) менша за швидкість світла у вакуумі. Саме зміна швидкості світла в разі переходу з одного прозорого середовища в інше є причиною заломлення світла.

Прийнято говорити про **оптичну густину середовища**: чим менша швидкість поширення світла в середовищі, тим більшою є оптична густина середовища.

Так, повітря має більшу оптичну густину, ніж вакуум, оскільки в повітрі швидкість світла дещо менша, ніж у вакуумі. Оптична густина води менша, ніж оптична густина алмазу, оскільки швидкість світла у воді більша, ніж в алмазі.

Чим більше відрізняються оптичні густини двох середовищ, тим більше заломлюється світло на межі їх поділу. Іншими словами, чим більше змінюється швидкість світла на межі поділу двох середовищ, тим сильніше воно заломлюється.

3

Установлюємо, що відбувається під час заломлення світла

Розгляньмо явище заломлення світла докладніше. Для цього знову скористаємося оптичною шайбою. Установивши в центрі диска скляний півциліндр, спрямуємо на нього вузький пучок світла (рис. 3.35). Частина пучка відіб'ється від поверхні півциліндра, а частина пройде крізь неї, змінивши свій напрямок (заломиться).

На схемі праворуч промінь SO задає напрямок падаючого пучка світла, промінь OK — напрямок відбитого пучка, промінь OB — напрямок залом-

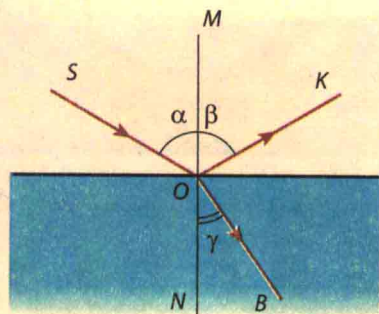
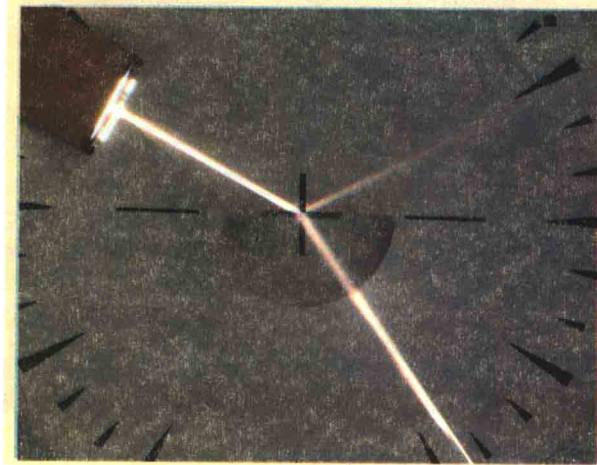


Рис. 3.35. Спостереження заломлення світла за допомогою оптичної шайби. α — кут падіння, β — кут відбивання, γ — кут заломлення світлового пучка

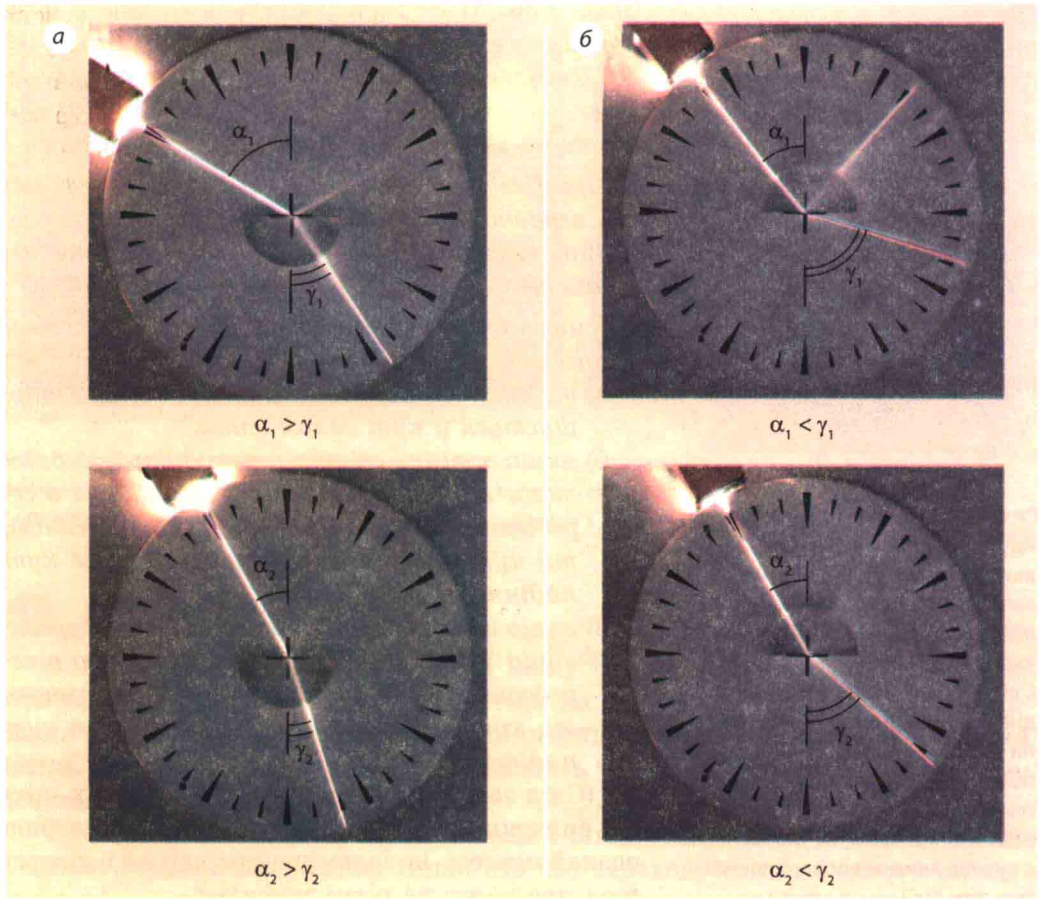


Рис. 3.36. Установлення закономірностей заломлення світла (α_1, α_2 — кути падіння, γ_1, γ_2 — кути заломлення). У разі збільшення кута падіння світла збільшується й кут його заломлення. Якщо світло падає із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною (з повітря в скло) (а), то кут падіння більший за кут заломлення. Якщо навпаки (зі скла в повітря) (б), то кут заломлення більший за кут падіння

леного пучка; MN — перпендикуляр, поставлений у точці падіння променя SO . Усі зазначені промені лежать в одній площині — у площині поверхні диска.

Кут, утворений заломленим променем і перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точці падіння променя, називається кутом заломлення.

Якщо тепер збільшити кут падіння, то ми побачимо, що збільшиться й кут заломлення. Зменшуючи кут падіння, ми помітимо зменшення кута заломлення (рис. 3.36).

Співвідношення значень кута падіння і кута заломлення у випадку переходу пучка світла з одного середовища в друге залежить від оптичної густини кожного із середовищ. Якщо, наприклад, світло падає з повітря на скло (рис. 3.36, а), то кут заломлення завжди буде меншим, ніж кут падіння ($\gamma_1 < \alpha_1$, $\gamma_2 < \alpha_2$). Якщо ж промінь світла спрямувати зі скла в повітря

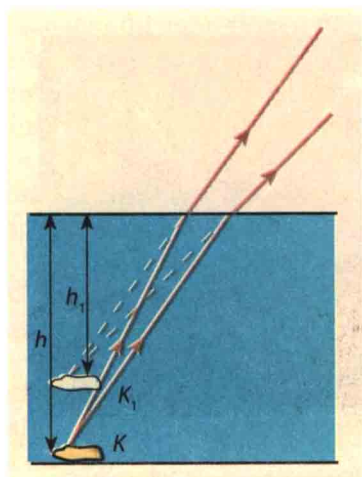


Рис. 3.37. Промені світла, що йдуть, наприклад, від камінця K , який лежить на дні водойми, заломлюються на межі «вода — повітря». У результаті ми бачимо уявне зображення камінця — K_1 і, відповідно, уявне зображення дна. Таким чином, визначаючи на око глибину водойми, ми помиляємося: нам здається, що глибина водойми — h_1 замість реальної глибини h . (Чим меншим є кут, під яким ми роздивляємося дно, тим більша похибка.)

(рис. 3.36, б), то кут заломлення завжди буде більшим, ніж кут падіння ($\gamma_1 > \alpha_1$, $\gamma_2 > \alpha_2$).

Нагадаємо, що оптична густина скла є більшою від оптичної густини повітря, і сформулюємо **закономірності заломлення світла**.

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, поставлений у точці падіння променя, лежать в одній площині.
2. Існують такі співвідношення між кутом падіння і кутом заломлення:
 - а) у разі збільшення кута падіння збільшується й кут заломлення;
 - б) якщо промінь світла переходить із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною, то кут заломлення є меншим, ніж кут падіння;
 - в) якщо промінь світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною, то кут заломлення є більшим, ніж кут падіння.

(Слід зазначити, що в старших класах, після вивчення курсу тригонометрії, ви глибше познайомитеся із заломленням світла і дізнаєтеся про нього на рівні законів.)

4

Пояснюємо заломленням світла деякі оптичні явища

Коли ми, стоячи на березі водойми, намагаємося на око визначити її глибину, вона завжди здається меншою, ніж є насправді. Це явище пояснюється заломленням світла (рис. 3.37).

Наслідком заломлення світла в атмосфері Землі є той факт, що ми бачимо Сонце й зорі трохи вище від їхнього реального положення (рис. 3.38). Заломленням світла можна пояснити ще багато природних явищ: виникнення міражів і веселки та ін.

Явище заломлення світла є основою роботи численних оптичних пристроїв (рис. 3.39). Із деякими з них ми познайомимось у наступних параграфах, із деякими — в ході подальшого вивчення фізики.

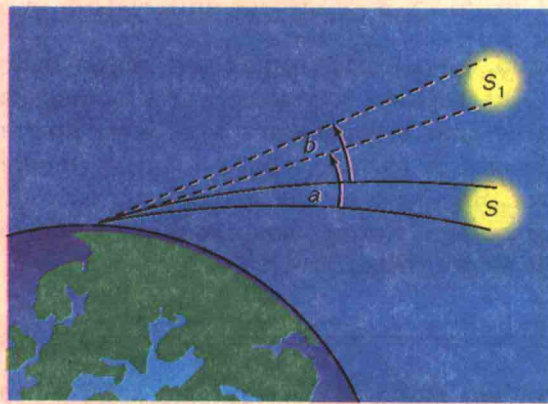


Рис. 3.38. Пучок світлових променів, який іде від Сонця (положення Сонця — S), заломлюється (крива a) в атмосфері Землі. Спостерігачеві здається, що світло поширюється по прямій b і, що Сонце є розташованим вище, ніж насправді (положення S_1)



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Світловий пучок, падаючи на межу поділу двох середовищ, які мають різну оптичну густину, поділяється на два пучки. Один із них — відбитий — відбивається від поверхні, підпорядковуючись законам відбивання світла. Другий — заломлений — проходить через межу поділу в друге середовище, змінюючи свій напрямок.

Причина заломлення світла — зміна швидкості світла в разі переходу з одного середовища в інше. Якщо під час переходу світла з одного середовища в інше швидкість світла зменшилася, то говорять, що світло перейшло із середовища з меншою оптичною густиною в середовище з більшою оптичною густиною, і навпаки.

Заломлення світла відбувається за певними законами.



Рис. 3.39. Оптичні пристрої, робота яких базується на явищі заломлення світла



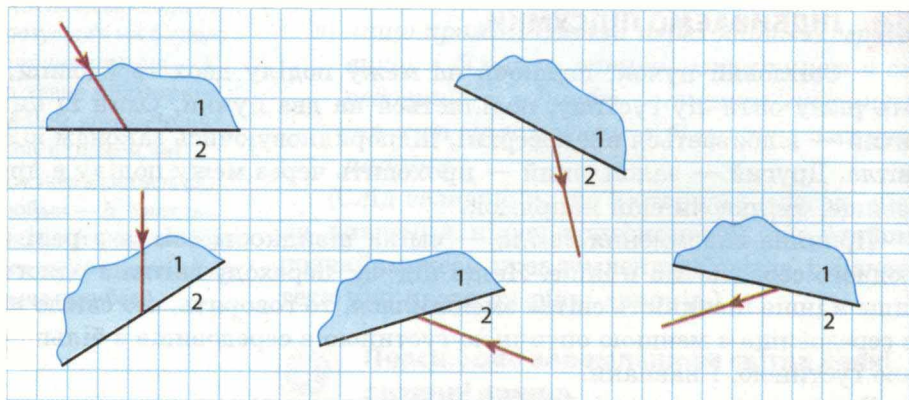
Контрольні запитання

1. Яке явище ми спостерігаємо, коли світло проходить через межу поділу двох середовищ?
2. Які досліди підтверджують явище заломлення світла на межі поділу двох середовищ?
3. У чому причина заломлення світла?
4. Швидкість світла у воді в 1,3 разу менша, ніж швидкість світла в повітрі. Яке середовище має більшу оптичну густину?
5. Який кут називається кутом заломлення?
6. Сформулюйте закономірності заломлення світла.

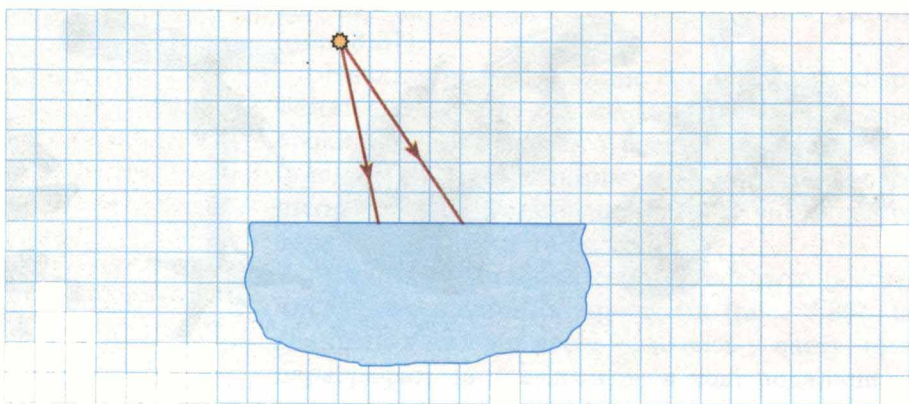


Вправи

1. Визначте кут падіння променя, якщо заломлений промінь є перпендикулярним до межі поділу двох середовищ.
2. Перенесіть рисунок до зошита. Вважаючи, що середовище 1 має більшу оптичну густину, ніж середовище 2, для кожного випадку схематично побудуйте падаючий або заломлений промінь, позначте кут падіння й кут заломлення.



3. Пучок світла падає з повітря на поверхню скла (див. рисунок). Перенесіть рисунок до зошита та схематично покажіть подальший хід пучка світла в склі та повітрі.



4. Промінь світла падає з повітря у воду під кутом 60° . Кут між відбитим і заломленим променями становить 80° . Обчисліть кут заломлення променя.
5. Обчисліть швидкість світла в алмазі.
6. Якщо дивитися на предмети крізь тепле повітря, яке піднімається від багаття, то здаватиметься, що предмети коливаються. Чому?
7. У чистому ставку можна бачити риб. Глибина, на якій плаває риба, є меншою, більшою чи дорівнює тій глибині, на якій ви її бачите? Обґрунтуйте свою відповідь за допомогою схематичного рисунка.



Експериментальні завдання

1. Покажіть і поясніть кому-небудь зі своїх друзів чи близьких згаданий у параграфі дослід із кільцем, що був описаний в одному з давньогрецьких трактатів (зрозуміло, що замість кільця можна скористатися й іншим предметом).
2. Приготуйте насичений розчин кухонної солі, додаючи сіль у теплу воду доти, доки сіль перестане розчинятися. Дайте розчину відстоятися протягом кількох годин і обережно перелийте його в чисту банку. Опустіть у розчин скляну паличку (кульку). Поясніть, чому занурений предмет практично не видно.

Фізика й техніка в Україні



Видатний фізик **Леонід Ісаакович Мандельшам** (1879—1944) народився в Могильові. Незабаром сім'я переїхала до Одеси, де Мандельшам навчався в гімназії. Згодом він закінчив фізико-математичний факультет Новоросійського університету.

Л. І. Мандельшам вивчав поширення електромагнітних хвиль, перш за все — видимого світла. Він виявив цілий ряд ефектів, деякі нині носять його ім'я (комбінаційне розсіювання світла, ефект Мандельштама—Бріллюена тощо).

Величезною є роль Л. І. Мандельштама в підготуванні нових поколінь фізиків. Він був одним із організаторів Політехнічного інституту в Одесі. Серед його учнів — видатні фізики І. Є. Тамм, М. Д. Папалексі, М. О. Леонтович, Г. С. Ландсберг та інші.

§ 24*. ПОВНЕ ВІДБИВАННЯ

■ Наведемо декілька фактів, на перший погляд, зовсім не пов'язаних один з одним: коли по телевізору показують підводні зйомки, поверхня води над підводниками плавання в тиху погоду здається дзеркальною (рис. 3.40); ювеліри огранюють коштовні камені, щоб збільшити їхню привабливість; нині дедалі більше поширюються так звані оптичні лінії зв'язку.

Виявляється, між цими фактами все-таки є спільне: усі вони пов'язані з одним фізичним явищем — повним внутрішнім відбиванням світла.



Рис. 3.40. Спостерігачеві, який перебуває під водою, поверхня води здається блискучою, мов дзеркало

1

Формулюємо гіпотезу повного відбивання

Щоб розібратися в причинах цього фізичного явища й зрозуміти основи його практичного застосування, необхідно повернутися до матеріалу попереднього параграфу, де ми експериментували із заломленням світлового променя. Пригадаймо: якщо пучок світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша, кут заломлення є завжди більшим, ніж кут падіння.

Уявімо тепер, як змінюватиметься кут заломлення світлового пучка в разі збільшення кута його падіння. Для цього схематично зобразимо падіння пучка світла на поверхню поділу середовищ під різними кутами, причому кут падіння пучка світла будемо послідовно збільшувати (рис. 3.41). Порівнюючи рис. 3.41, а і рис. 3.41, б, ми бачимо, як заломлений пучок наближається до межі поділу двох середовищ. Логічно, що в разі подальшого збільшення кута падіння кут заломлення врешті перевищить 90° (рис. 3.41, в). Однак кут, більший за 90° , — це вже не заломлення пучка світла, а його повернення в перше середовище! «Повернення в перше середовище» означає насправді відбивання, причому відбивання *повне*, тому що *весь падаючий пучок світла має повернутися в перше середовище*.

Таким чином, на підставі тільки знань заломлення світла й розмірковувань ми зробили припущення про існування нового для вас явища.

Тепер сформулюймо наше припущення у вигляді *гіпотези*.

Якщо спрямувати під великим кутом падіння пучок світла із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша, то падаючий пучок не проходитьиме в друге середовище, а повністю відіб'ється від межі поділу.

Перевіримо нашу гіпотезу за допомогою експерименту.

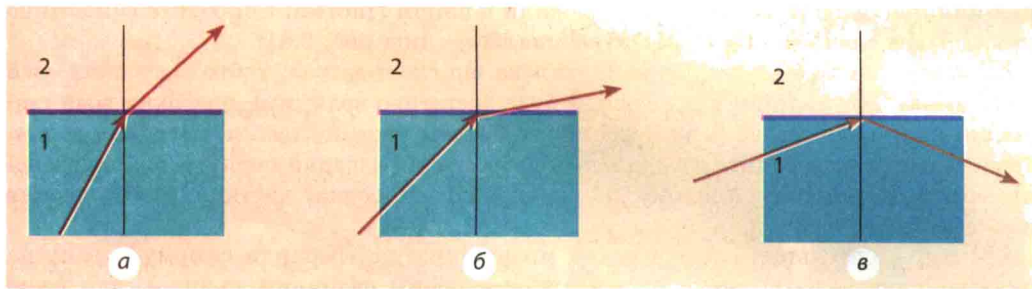


Рис. 3.41. Схематичне зображення променів, що падають на поверхню поділу двох середовищ із середовища 1 з більшою оптичною густиною в середовище 2 з меншою оптичною густиною. Кут падіння променя збільшується від схеми до схеми (від схеми а до схеми в)

2 Експериментально перевіряємо гіпотезу повного відбивання

Для експерименту вам потрібна тонкостінна скляна посудина, наприклад склянка, приблизно наполовину заповнена холодною водопровідною водою. Для зручності проведення дослідів обрана посудина має бути без малюнка на стінках. Об'єктом спостереження може бути, наприклад, корпус пластмасової ручки яскравого кольору, бажано з написом.

Пропонований дослід необхідно проводити в добре освітленій кімнаті (при сонячному чи штучному освітленні).

Занурте корпус ручки в склянку із водою і, тримаючи склянку в руці, розташуйте його над головою — приблизно на відстані 25—30 см (рис. 3.42). У ході дослідів ви маєте стежити за об'єктом.

Спочатку, підвівши голову, ви будете бачити весь корпус ручки (як ту частину, що є у воді, так і надводну частину). Тепер повільно пересувайте від себе склянку, не змінюючи висоти. Такий рух склянки співвідноситься зі збільшенням кута



Рис. 3.42. Спостереження повного відбиття

падіння пучка світла, про що ми говорили в нашій гіпотезі. Спробуйте самостійно намалювати схему поширення світла (аналог — див. рис. 3.41).

Коли склянка буде достатньо віддалена від спостерігача, тобто від ваших очей (відповідно, кут падіння пучка світла буде достатньо великим), поверхня води стане для вас дзеркальною й ви перестанете бачити частину ручки, що є над водою. Замість цього ви побачите дзеркальне відображення частини корпусу, розташованої під водою. Переконайтеся в тому, що це справді «підводна» частина, вам допоможе напис на корпусі ручки.

Отже, в результаті експерименту ми успішно підтвердили сформульовану на початку параграфа гіпотезу й зустрілися з новим фізичним явищем, яке називають **повне відбивання**. «Повне» — бо в цьому явищі весь світловий пучок відбивається від межі поділу двох середовищ. Найпростіше спостерігати це явище, перебуваючи в межах середовища з більшою оптичною густиною. Любителі підводного плавання зможуть підтвердити все це власними спостереженнями, усім іншим радимо уважно стежити за екраном телевізора, коли показують підводні зйомки (див. рис. 3.40).

Зверніть увагу, що *описуване явище можливе тільки тоді, коли пучок світла переходить із середовища з більшою оптичною густиною в те, оптична густина якого менша*. Для протилежного випадку (перехід із середовища з меншою оптичною густиною в те, оптична густина якого є більшою) кут заломлення буде меншим, ніж кут падіння. Отже, явище повного внутрішнього відбивання спостерігатися не буде.

Ювеліри протягом сторіч використовують явище повного внутрішнього відбивання світла, щоб підвищити привабливість і цінність коштовних каменів. Природні камені обробляють — огранюють, іншими словами, створюють на поверхні каменя багато площин (граней). Люди зазвичай роздивляються коштовні камені при яскравому світлі. Незалежно від місця розташування джерела світла деякі грані каменя виконуватимуть роль «внутрішніх дзеркал», і камінь «заграє» в променях. Якщо камінь повернути, то внутрішніми дзеркалами стануть інші грані (рис. 3.43).

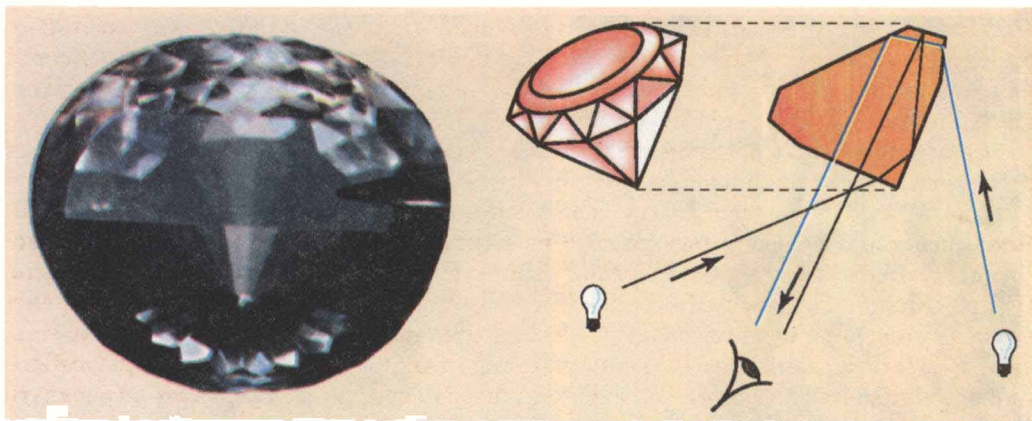


Рис. 3.43. Схема відбивання променів світла від внутрішніх поверхонь коштовних каменів. Якщо промінь світла падає на коштовний камінь, наприклад, із джерела 1, то він відбивається від однієї грані й потрапляє в око спостерігача. Якщо промінь світла падає з джерела 2, то світло відбивається вже від двох граней — і знову потрапляє в око спостерігача. Отже, для спостерігача коштовний камінь виблискує незалежно від того, де розташоване джерело світла

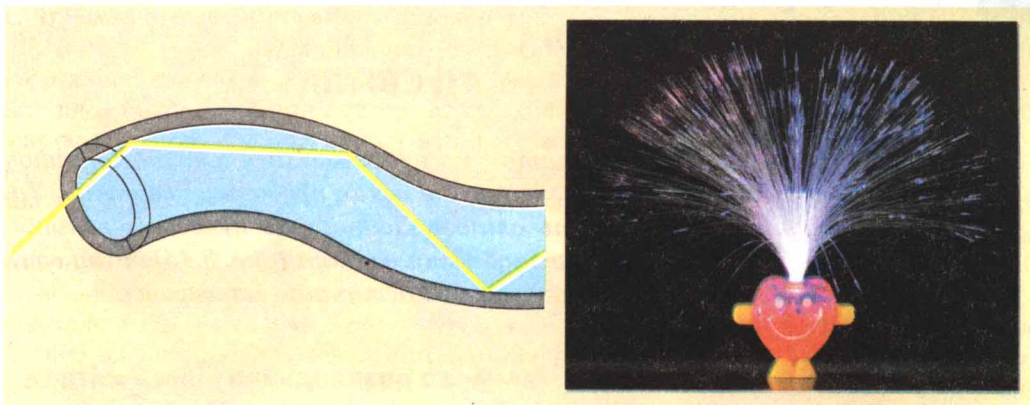


Рис. 3.44. Поширення світлового пучка світловодом

3 Знайомимося з волоконною оптикою

Інтенсивне практичне застосування явища повного відбивання розпочалося тільки в останні 20—30 років. Пов'язане воно зі створенням волоконних оптичних систем.

Якщо в торець скляної пластинки спрямувати пучок світла, то після багаторазового відбивання світло вийде на протилежному боці пластинки (рис. 3.44). До того ж, це відбудеться незалежно від того, якою буде пластинка: вигнутою чи прямою. Тому перші **світловоди** (гнучкі нитки, що проводять світло на основі явища повного внутрішнього відбивання) люди стали використовувати для підсвічування важкодоступних місць. Джерело світла (наприклад ліхтарик) спрямовує світло на один кінець гнучкого світловода, а другий кінець цього світловода освітлює потрібне важкодоступне місце. Цю технологію використовують у медицині для досліджування внутрішніх органів (*ендоскопія*). Застосовують її й у техніці, скажімо, для визначення дефектів усередині моторів без їх розбирання.

Пізніше джгути світловодів стали використовувати як джерела сонячного освітлення закритих приміщень. Наприклад, один кінець світловода розміщують на даху, а другий — у кімнаті без вікон; у результаті в сонячний день природне світло заливає цю кімнату.

Світловоди широко використовують в індустрії розваг — для підсвічування сцен різних шоу, прикрашання вітрин, у дитячих іграшках.

Однак найбільше світловоди поширені як кабелі для передачі інформації. Якщо перетворити певну інформацію на пакет світлових сигналів, то за допомогою світловодів її можна передати на велику відстань практично без викривлень. Поставивши на другому кінці системи зворотний перетворювач (світлових сигналів — на певну інформацію), у результаті одержують вискоєфективний кабель, який є набагато дешевшим і легшим за стандартний мідний, практично не змінює своїх властивостей під впливом навколишнього середовища, дозволяє передавати більше інформації тощо.

Завдяки своїм перевагам такі кабелі стрімко витісняють традиційні проводи. Якщо ще в середині 70-х років минулого століття ці системи були доволі екзотичними, то вже в 1988 році дном Атлантичного океану прокладено перший волоконно-оптичний кабель. Сьогодні ВОЛЗ (волоконно-оптичні лінії зв'язку) — це телефонний зв'язок між найбільшими містами України, Інтернет і багато іншого.

§ 25. ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. СПЕКТРАЛЬНИЙ СКЛАД СВІТЛА

■ *Сонячний літній день. І раптом на небі з'явилася хмаринка, пішов дощик, який начебто «не помічає», що сонце продовжує світити. Такий дощ у народі називають сліпим. Дощик іще не встиг закінчитись, а на небі вже засяяла різнобарвна веселка (рис. 3.45). Чому вона з'явилася? Відповідь ви дізнаєтесь із наступного параграфа.*

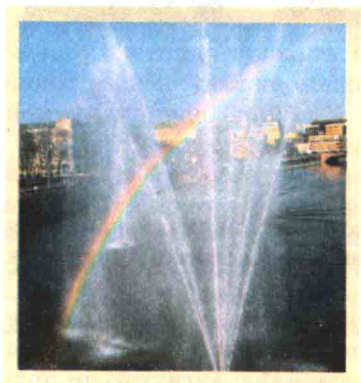


Рис. 3.45. Явище, подібне до веселки, можна спостерігати в бризках фонтана або водоспаду

1

Вивчаємо розкладання білого світла в спектр

Виявляється, що й у лабораторних умовах можна спостерігати дивовижне явище, подібне до веселки. Для цього спрямуємо вузький пучок білого світла на скляну призму (рис. 3.46). Проходячи крізь призму, пучок білого світла заломлюється, і на екрані утворюється веселкова смужка — *спектр*.

Поява спектра пояснюється тим, що пучок білого світла являє собою сукупність світлових пучків різних кольорів, а світлові пучки різних кольорів поширюються в одному середовищі з різною швидкістю.

Залежність швидкості поширення пучка світла в певному середовищі від кольору пучка називають **дисперсією світла**.

Зазвичай пучки світла, що мають меншу швидкість поширення, заломлюються більше.

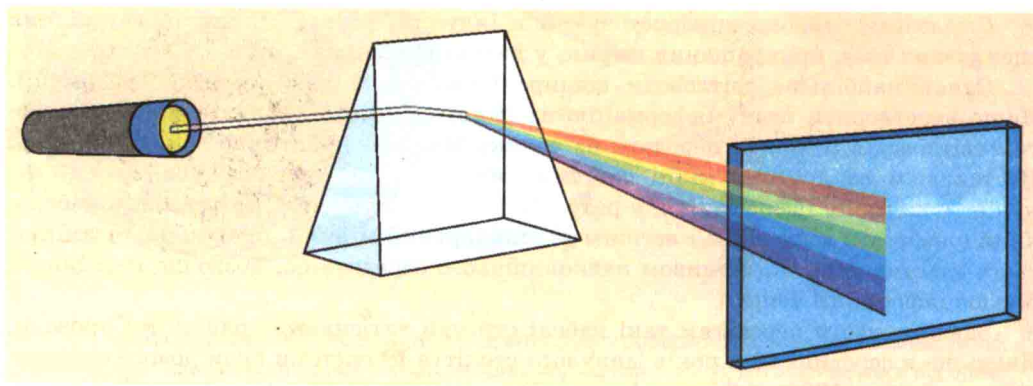


Рис. 3.46. Розкладання білого світла в спектр під час проходження крізь скляну призму. Найбільше заломлюються фіолетові промені, найменше — червоні

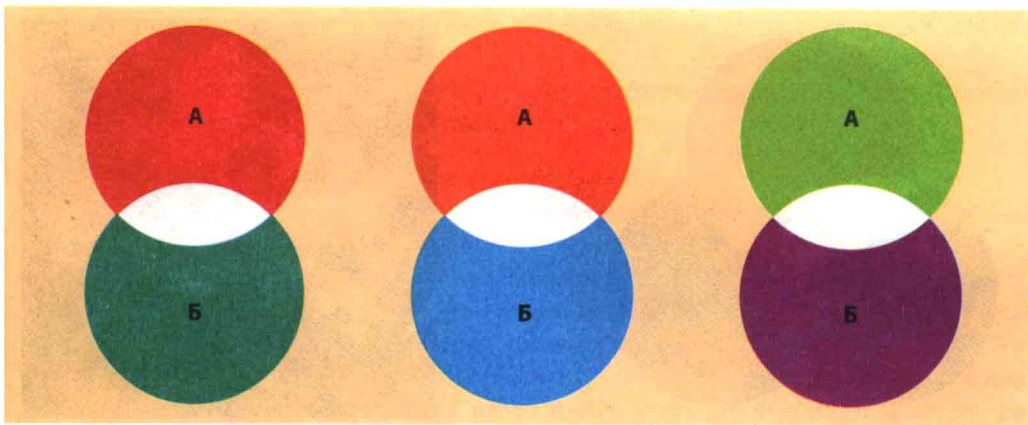


Рис. 3.47. Деякі доповняльні кольори

Наприклад, у середовищах, з якими ви знайомитеся в школі, фіолетові пучки мають меншу швидкість, ніж червоні, й, отже, заломлюються більше. До речі, саме тому смужка фіолетового кольору в спектрі розташована нижче від червоної (див. рис. 3.46).

Порівняймо рис. 3.45 і 3.46: кольори веселки — то і є кольори спектра, що не дивно, бо насправді веселка — це величезний спектр сонячного світла. Міріади маленьких краплинок води (пам'ятаєте, що веселка завжди утворюється під час або після дощу?), діючи разом подібно до безлічі «призм», заломлюють біле сонячне світло і створюють різноколірну дугу.

2 Характеризуємо кольори

У спектрі зазвичай виділяють сім кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий.

Світлові пучки двох різних спектральних кольорів у разі накладання один на одного утворюють інші кольори. Це явище називають *накладанням спектральних кольорів*. Так, спрямувавши на екран пучки оранжевого й зеленого кольорів таким чином, щоб вони перекривали один одного, дістанемо за екрані жовтий колір.

Деякі спектральні кольори у разі накладання один на одного утворюють білий колір. Такі пари спектральних кольорів називають *доповняльними* (рис. 3.47). На рисунку кольори ділянок А і Б є доповняльними, бо вони доповнюють один одного до білого кольору.

Особливе ж значення для нашого зору мають *три основні спектральні кольори*: червоний, зелений і синій. Накладаючи ці три кольори один на одний у різних пропорціях, можна діставати різні кольори та відтінки (рис. 3.48). Три цьому зелений, червоний і синій кольори не можна одержати комбінацією інших кольорів спектра.

На накладанні трьох основних спектральних кольорів у різних пропорціях ґрунтується, наприклад, *кольорове телебачення*. Якщо ви подивитесь за екран кольорового телевізора через лупу, то побачите, що зображення складається з дрібних об'єктів червоного, зеленого й синього кольорів.

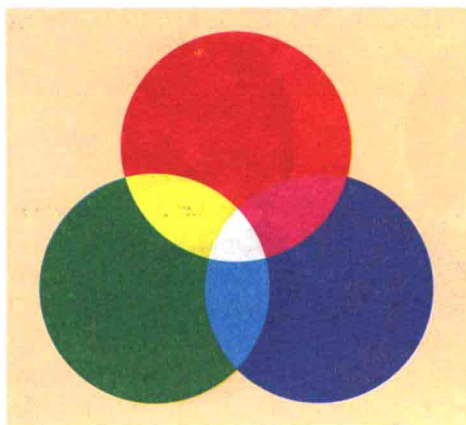


Рис. 3.48. Основні кольори спектра — зелений, червоний, синій



Рис. 3.49. Листя рослини, освітленої синім кольором, здається нам практично чорним

3

З'ясуємо, чому світ є різноколірним

Знаючи, що біле світло є складним, можна пояснити, чому навколишній світ, освітлений лише одним джерелом білого світла — Сонцем, ми бачимо різноколірним.

Як ви вже знаєте, світло частково відбивається від фізичних тіл, частково заломлюється і частково поглинається ними, причому ці процеси залежать від оптичних властивостей матеріалу, з якого складаються тіла, і від кольору світлового пучка.

Біла поверхня відбиває однаково промені всіх кольорів. Тому альбомний аркуш, освітлений джерелом білого світла, здається нам білим. Зелена трава, освітлена тим самим джерелом, відбиває переважно промені зеленого кольору, а решту поглинає. Червоні пелюстки тюльпанів відбивають в основному промені червоного кольору, жовті пелюстки соняшників — жовтого.

Синє світло, спрямоване на зелене листя рослин, майже цілком поглинається листям, бо таке листя відбиває переважно зелені промені, а інші — поглинає. Отже, листя, яке освітлене синім кольором, здаватиметься нам практично чорним (рис. 3.49). Якщо ж, наприклад, освітити синім світлом білий папір, то він здасться нам синім, тому що білий папір відбиває промені всіх кольорів, у тому числі й сині. А от чорна шерсть кота поглинає промені всіх кольорів, тому, хоч яким світлом ми його освітимо, кіт однаково здаватиметься чорним.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Залежність швидкості поширення пучка світла в певному середовищі від кольору пучка називають дисперсією світла. У результаті дисперсії біле світло, що пройшло, наприклад, крізь призму, утворює спектр, тобто виявляється розкладеним на сім спектральних кольорів (червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий).

У разі накладання двох різних спектральних кольорів утворюються інші кольори.

Завдяки тому що різні тіла по-різному відбивають, заломлюють і поглинають світло, ми бачимо навколишній світ різноколірним.



Контрольні запитання

1. Що називають дисперсією світла?
2. У чому причина дисперсії світла?
3. Які природні явища можна пояснити дисперсією світла?
4. Поясніть, що означає вираз «біле світло — складне світло»?
5. Які кольори називають доповняльними?
6. Назвіть властивості основних кольорів спектра.
7. Світло якого кольору відбиває зелений виноград?



Вправи

1. Світло якого кольору проходить крізь синє скло? поглинається ним?
2. Якими здаватимуться червоні літери на білому папері, якщо дивитися на них крізь зелене скло? Яким при цьому здаватиметься колір паперу?
3. Через скло якого кольору не можна побачити текст, написаний фіолетовим чорнилом на білому папері?
4. У воді поширюються пучки світла червоного, оранжевого та блакитного кольорів. Швидкість поширення якого з пучків буде більшою?



Експериментальні завдання

1. Наповніть неглибоку посудину водою й поставте її біля стіни. На дно посудини помістіть плоске дзеркало під тупим кутом до дна. Дзеркало має бути цілком занурене у воду. Спрямуйте на нього пучок світла — на стіні з'явиться «сонячний зайчик». Уважно роздивіться його та поясніть явище, яке спостерігається.
2. Проведіть дослід із накладання різних кольорів. Для цього слід вирізати із цупкого паперу кілька кругів діаметром 15 см. Один із кругів поділіть на три однакові сектори. Перший сектор зафарбуйте червоним кольором, другий — синім, третій — зеленим. Решту кругів розділіть на сектори різного розміру та зафарбуйте будь-якими різними кольорами. По черзі насадіть кожний круг на вістря кулькової ручки й розкрутіть його. Опишіть та поясніть свої спостереження.

Фізика й техніка в Україні



Відкрите акціонерне товариство «СЕЛМІ» (Сумські Електронні Мікроскопи) почало свою виробничу діяльність у 1959 році. Це підприємство є безперечним лідером на теренах СНД з виробництва приладів для вимірювань.

Одним із зразків продукції об'єднання «СЕЛМІ» є спектрофотометр (див. рисунок). Цей прилад призначений для аналізу вмісту важких металів, шкідливих речовин (цинк, свинець, мідь, кадмій, ртуть) у продуктах харчування та харчовій сировині, а також у природній воді, зразках ґрунту тощо. Чутливість спектрофотометра є дуже високою. Скажімо, прилад зможе визначити наявність 0,005 мг ртуті в літрі води.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11



Тема. Утворення кольорової гами світла шляхом накладання пучків світла різного кольору.

Мета роботи: одержати різні кольори та відтінки кольорів шляхом накладання пучків світла різного кольору.

Обладнання: чистий білий аркуш; джерело світла (2 шт.); екран зі щілиною (2 шт.); різні світлофільтри (мінімум два).

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до роботи

Покладіть на стіл білий аркуш. Біля протилежних країв аркуша встановіть екрани. За екранами розташуйте джерела світла. Дослідним шляхом знайдіть таке розташування джерел відносно екранів, за якого смужки світла на папері накладаються одна на одну.

Виконання роботи

1. Затуляючи щілини екранів різними світлофільтрами, спостерігайте зміну кольору смужки світла на папері.
2. За результатами спостережень заповніть таблицю.

Номер досліду	Колір світлофільтра (1)	Колір світлофільтра (2)	Колір смужки світла на папері між екранами

Аналіз результатів роботи

Зробіть висновок, у якому опишіть і поясніть явища, які ви спостерігали.

§ 26. ЛІНЗИ

■ На уроках природознавства ви, напевно, користувалися мікроскопом. Дехто з ваших друзів (а може, і ви самі) має окуляри. Найімовірніше, більшість із вас знайомі з біноклем, зоровою трубою, телескопом. Усі ці прилади мають спільне: їхньою основною частиною є лінза.

1 Знайомимося з різними видами лінз

Лінзою (сферичною*) називають прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями (зокрема, одна з поверхонь може бути площиною). За формою лінзи поділяються на опуклі (рис. 3.50) та увігнуті (рис. 3.51).

Якщо товщина лінзи d у багато разів менша від радіусів R_1 і R_2 сферичних поверхонь, що утворюють лінзу, то таку лінзу називають **тонкою лінзою** (рис. 3.52). Далі, говорячи про лінзу, ми завжди матимемо на увазі таку лінзу.

Зазвичай опуклі лінзи є **збиральними**: паралельні промені, що падають на збиральну лінзу, пройшовши крізь неї, перетинаються в одній точці (рис. 3.53).

Увігнуті лінзи найчастіше бувають **розсіювальними**: паралельні промені після проходження крізь розсіювальну лінзу виходять розбіжним пучком (рис. 3.54).

* Лінзи також бувають циліндричними, але зустрічаються такі лінзи рідко.

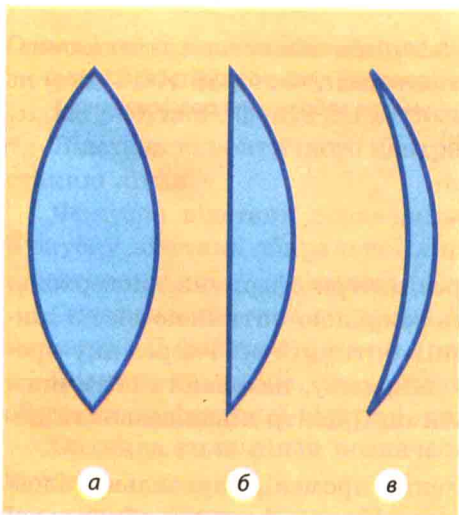


Рис. 3.50. Різні види опуклих лінз у розрізі:
а — двоопукла лінза, б — плоско-опукла лінза, в — увігнуто-опукла лінза

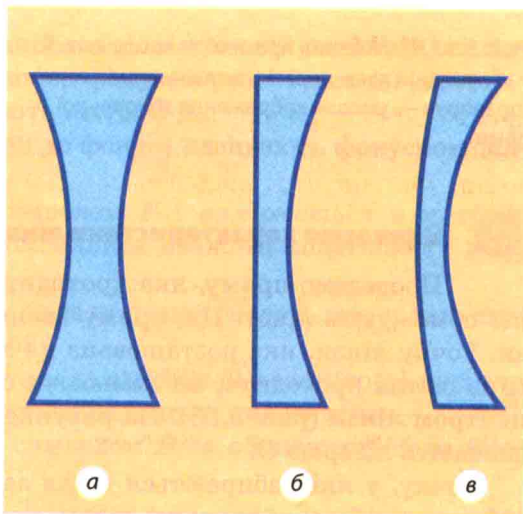


Рис. 3.51. Різні види увігнутих лінз у розрізі:
а — двоувігнута лінза, б — плоско-увігнута лінза, в — опукло-увігнута лінза

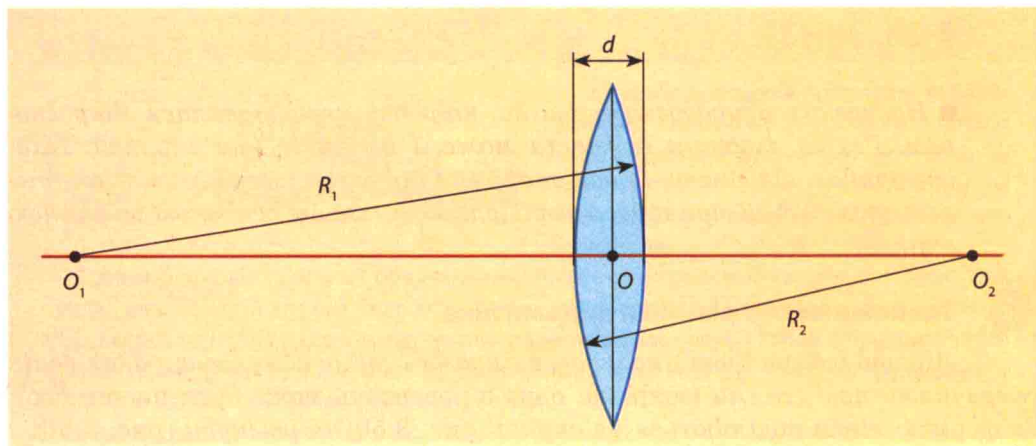


Рис. 3.52. Тонка сферична лінза: $d \ll R_1, d \ll R_2$

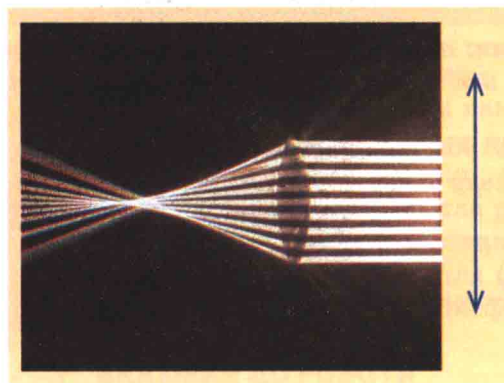


Рис. 3.53. Паралельні промені, заломлюючись у збиральній лінзі, перетинаються в одній точці (праворуч — умовне зображення збиральної лінзи)

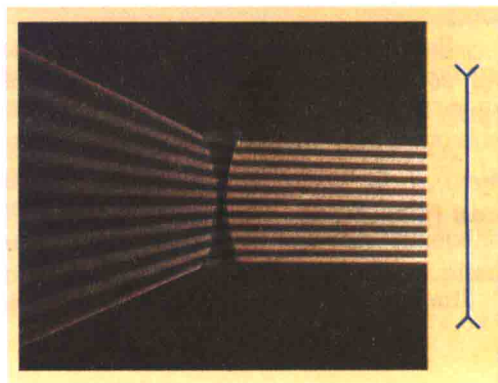


Рис. 3.54. Паралельні промені, заломлюючись у розсіювальній лінзі, розходяться (праворуч — умовне зображення розсіювальної лінзи)

2

Вивчаємо характеристики лінзи

Проведемо пряму, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу. Цю пряму називають **головною оптичною віссю лінзи**. Точку лінзи, яка розташована на головній оптичній осі і через яку промінь світла проходить, не змінюючи свого напрямку, називають **оптичним центром лінзи** (рис. 3.55). На рисунках оптичний центр лінзи зазвичай позначають літерою *O*.

Точку, у якій збираються після заломлення промені, паралельні головній оптичній осі збиральної лінзи, називають **дійсним фокусом збиральної лінзи** (рис. 3.56).

Якщо пучок променів, паралельних головній оптичній осі, спрямувати на розсіювальну лінзу, то після заломлення вони вийдуть розбіжним пучком.

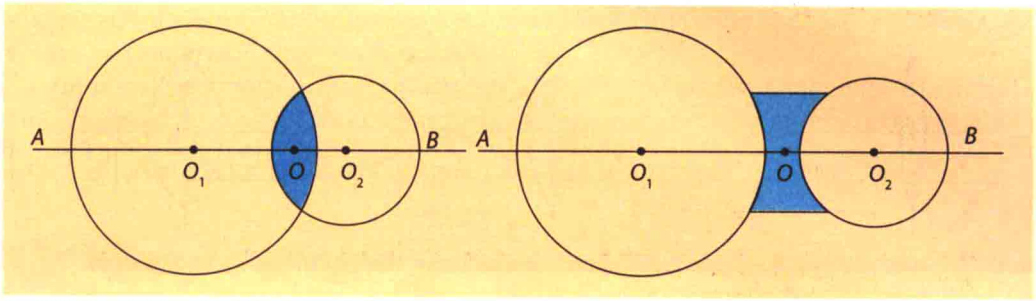


Рис. 3.55. Пряма AB , яка проходить через центри O_1 і O_2 сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називається головною оптичною віссю лінзи. Точка O — оптичний центр лінзи

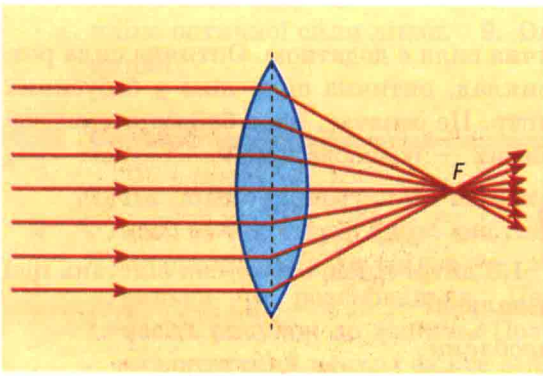


Рис. 3.56. Дійсний фокус збиральної лінзи — точка F

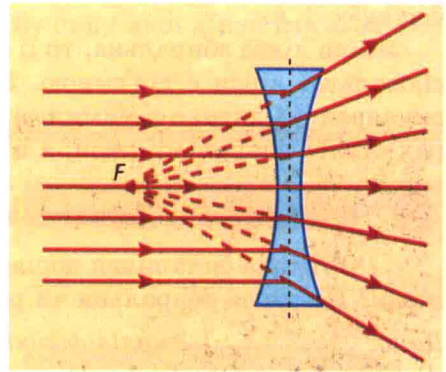


Рис. 3.57. Уявний фокус розсіювальної лінзи — точка F

Однак їхні продовження зберуться в одній точці на головній оптичній осі лінзи (рис. 3.57). Цю точку називають **уявним фокусом розсіювальної лінзи**.

На рисунках фокус лінзи позначають літерою F .

Відстань від оптичного центра лінзи до фокуса називають **фокусною відстанню лінзи**.

Фокусна відстань позначається символом F і **вимірюється в метрах**. Фокусну відстань збиральної лінзи домовилися вважати додатною ($F > 0$), а розсіювальної — від'ємною ($F < 0$).

Очевидно, що чим сильніші заломлювальні властивості має лінза, тим меншою є її фокусна відстань (рис. 3.58).

Фізична величина, що характеризує заломлювальні властивості лінзи та обернена до фокусної відстані, називається **оптичною силою лінзи**.

Оптична сила лінзи позначається символом D та обчислюється за формулою

$$D = \frac{1}{F},$$

де F — фокусна відстань лінзи.

Одиницею оптичної сили є **діоптрія**.

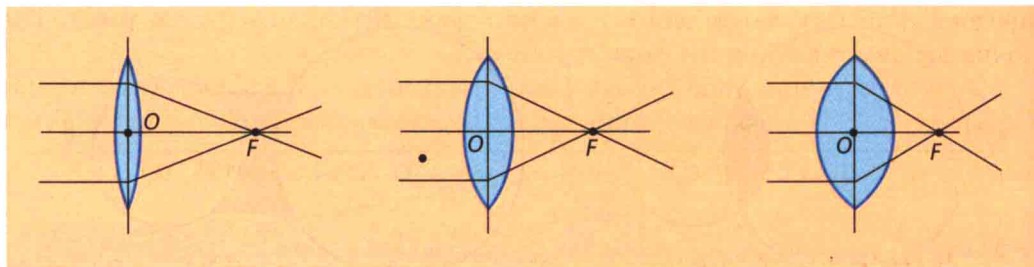


Рис. 3.58. Чим меншими є радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, тим сильніше ця лінза заломлює світло, отже, тим менша її фокусна відстань F

1 діоптрія (дптр) — це оптична сила такої лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м.

Якщо лінза збиральна, то її оптична сила є додатною. Оптична сила розсіювальної лінзи є від'ємною. Наприклад, оптична сила лінз у бабусиних окулярах $+3$ дптр, а в маминих -3 дптр. Це означає, що в бабусиних окулярах стоять збиральні лінзи, а в маминих — розсіювальні.

3 Вчимося розв'язувати задачі

Оптична сила лінзи дорівнює $-1,6$ дптр. Якою є фокусна відстань цієї лінзи? Ця лінза збиральна чи розсіювальна?

Дано:

$$D = -1,6 \text{ дптр}$$

$F = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Для визначення фокусної відстані цієї лінзи скористаємося формулою для обчислення оптичної сили лінзи. Оскільки $D < 0$, то лінза розсіювальна.

Пошук математичної моделі, розв'язання:

$$D = \frac{1}{F}, \text{ отже, } F = \frac{1}{D}.$$

Визначимо числове значення шуканої величини:

$$\{F\} = \frac{1}{-1,6} = -0,625.$$

$$F = -0,625 \text{ м} = -62,5 \text{ см}.$$

Відповідь: $F = -62,5$ см, лінза розсіювальна.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями, називають лінзою. Лінзи бувають збиральними та розсіювальними, а за формою — опуклі та увігнуті.

Лінза називається збиральною, якщо пучок паралельних променів, що падає на неї, після заломлення в лінзі перетинається в одній точці. Цю точку називають дійсним фокусом лінзи.

Лінза називається розсіювальною, якщо паралельні промені, що падають на неї, після заломлення в лінзі йдуть розбіжним пучком, однак

продовження цих заломлених променів перетинаються в одній точці. Ця точка називається уявним фокусом лінзи.

Фізична величина, що характеризує заломлювальні властивості лінзи та є оберненою до фокусної відстані лінзи, називається оптичною силою лінзи ($D = \frac{1}{F}$). Оптична сила лінзи вимірюється в діоптріях (дптр).



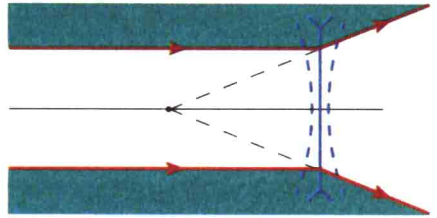
Контрольні запитання

1. Що називають лінзою?
2. Які види лінз вам відомі?
3. Чим розсіювальна лінза відрізняється від збиральної?
4. Що називають дійсним фокусом лінзи?
5. Чому фокус розсіювальної лінзи називають уявним?
6. Що називають фокусною відстанню лінзи?
7. Яку фізичну величину називають оптичною силою лінзи?
8. Назвіть одиницю оптичної сили лінзи.
9. Оптичну силу якої лінзи взято за одиницю?



Вправи

1. На лінзу спрямували паралельний пучок світла (див. рисунок). Визначте, яка це лінза — збиральна чи розсіювальна. Перенесіть рисунок до зошита. Позначте оптичний центр і фокус лінзи. Виміряйте фокусну відстань лінзи та визначте її оптичну силу.



2. Оптична сила однієї лінзи дорівнює -2 дптр, а другої — $+2$ дптр. Чим відрізняються ці лінзи одна від одної?
3. Фокусна відстань однієї лінзи дорівнює $+0,5$ м, а другої — $+1$ м. Яка лінза має більшу оптичну силу?
4. Чому не можна поливати рослини на клумбі сонячного дня?
5. У склі є порожнина у вигляді двоопуклої лінзи. Ця лінза збиратиме чи розсіюватиме промені? Обґрунтуйте відповідь.
6. Дано дві двоопуклі лінзи, виготовлені з одного сорту скла. Як на дотик визначити, яка лінза має більшу оптичну силу?



Експериментальні завдання

1. Запропонуйте метод визначення фокусної відстані збиральної лінзи за допомогою лінійки.
2. Спробуйте в домашніх умовах виготовити лінзу. Який матеріал зручніше взяти? Визначте фокусну відстань і оптичну силу такої лінзи.

Фізика й техніка в Україні



Ізюмський казенний приладобудівний завод — провідне підприємство України з виготовлення оптичного скла. Завод випускає понад 200 марок кольорового та безбарвного скла, у тому числі волоконне, лазерне, молочне, фотохромне, з високим коефіцієнтом заломлення.

Завод є розробником і єдиним на території СНД виробником морських стаціонарних маяків, що працюють у телекерованому режимі.

Завод — єдине в нашій країні підприємство з виробництва сенситометричних приладів, необхідних для контролю якості кіно- та фотоматеріалів. На заводі розробляються й випускаються надточні лазерні далекоміри, а також серія високоточних оптико-механічних та оптико-електронних приладів.

§ 27. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ДАЄ ТОНКА ЛІНЗА. ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ

■ Зараз нікого не дивує, що можна побачити бактерії та інші мікроорганізми, роздивитися невидимі для неозброєного ока деталі рельєфу поверхні Місяця або помилуватися портретом, намальованим на маковому зернятку. Усе це є можливим тому, що за допомогою лінзи одержують різні за розміром зображення предметів.

1

Спостерігаємо зображення предмета, одержане за допомогою лінзи

Розташувавши послідовно запалену свічку, збиральну лінзу й екран, одержимо на екрані чітке зображення полум'я свічки (рис. 3.59). Зображення може бути як більшим, так і меншим за саме полум'я або рівним йому — залежно від відстані між свічкою і екраном. Щоб з'ясувати, за яких умов за допомогою лінзи утворюється те чи інше зображення предмета, розглянемо прийоми його побудови.

2

Вчимося будувати зображення предмета, що дає тонка лінза

Будь-який предмет можна уявляти як сукупність точок. Кожна точка предмета, що світиться власним або відбитим світлом, випускає промені у всіх напрямках. Для побудови



Рис. 3.59. Отримання зображення полум'я свічки за допомогою збиральної лінзи

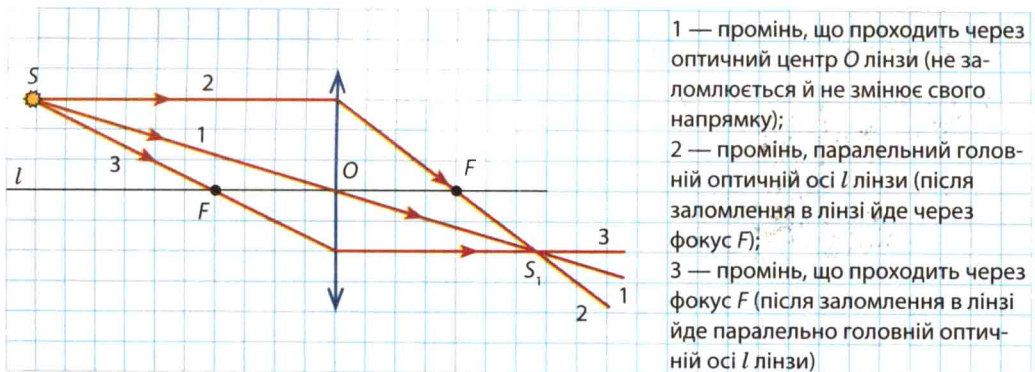


Рис. 3.60. Три найпростіші в побудові промені («зручні промені»)

дови зображення точки S , яке отримується за допомогою лінзи, достатньо знайти точку перетину S_1 будь-яких двох променів, що виходять із точки S та проходять крізь лінзу (точка S_1 і буде дійсним зображенням точки S). До речі, у точці S_1 перетинаються всі промені, що виходять із точки S , однак для побудови зображення достатньо двох променів (будь-яких із трьох показаних на рис. 3.60).

Зобразимо схематично предмет стрілкою AB і віддаємо його від лінзи на відстань, яка більша, ніж $2F$ (за подвійним фокусом) (рис. 3.61, а). Спочатку побудуємо зображення B_1 точки B . Для цього скористаємося двома «зручними» променями (промінь 1 та промінь 2). Ці промені після заломлення в лінзі перетнуться в точці B_1 . Отже, точка B_1 є зображенням точки B . Для побудови зображення A_1 точки A із точки B_1 проведемо перпендикуляр на головну оптичну вісь l . Точка перетину перпендикуляра і осі l і є точкою A_1 .

Отже, A_1B_1 і є зображенням предмета AB , яке одержуємо за допомогою лінзи. Ми бачимо: якщо предмет розташований за подвійним фокусом збиральної лінзи, то його зображення, одержане за допомогою лінзи, є зменшеним, перевернутим, дійсним. Таке зображення виходить, наприклад, на плівці фотоапарата (рис. 3.61, б) або сітківці ока.

На рис. 3.62, а показано побудову зображення предмета AB , одержаного за допомогою збиральної лінзи, у випадку, коли предмет розташований

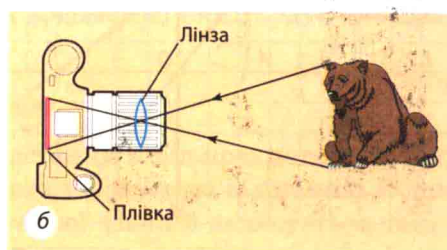
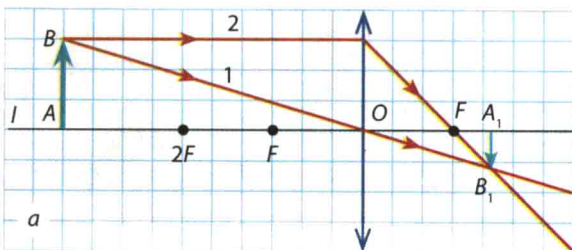


Рис. 3.61. а — побудова зображення A_1B_1 предмета у збиральній лінзі: предмет AB розташований за подвійним фокусом лінзи; б — хід променів у фотоапараті

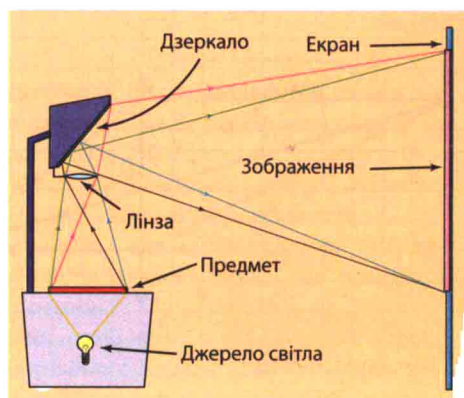
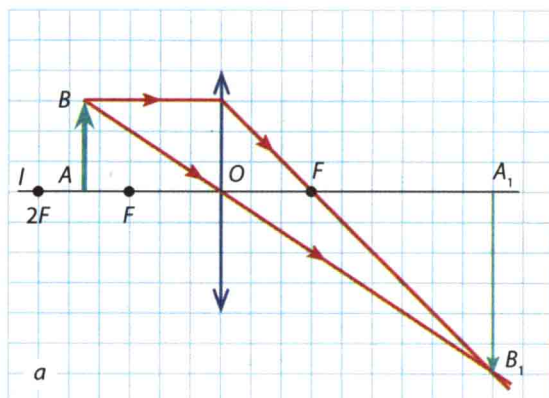


Рис. 3.62. а — побудова зображення A_1B_1 предмета у збиральній лінзі: предмет AB розташований між фокусною і подвійною фокусною відстанями; б — хід променів у проекційному апараті

між фокусом і подвійним фокусом. Зображення предмета в цьому випадку є збільшеним, перевернутим, дійсним. Таке зображення дозволяє одержати проекційна апаратура на екрані (рис. 3.62, б).

Якщо помістити предмет між фокусом і лінзою, то зображення на екрані ми не побачимо. Але, подивившись на предмет крізь лінзу, побачимо зображення предмета — воно буде пряме, збільшене.

Використовуючи «зручні промені» (рис. 3.63, а), побачимо, що після заломлення в лінзі реальні промені, які вийшли з точки B , підуть розбіжним пучком. Однак їхні продовження перетнуться в точці B_1 . Нагадаємо, що в цьому випадку ми маємо справу з уявним зображенням предмета. Тобто якщо предмет розташований між фокусом і лінзою, то його зображення буде збільшеним, прямим, уявним, розташованим з того самого боку від лін-

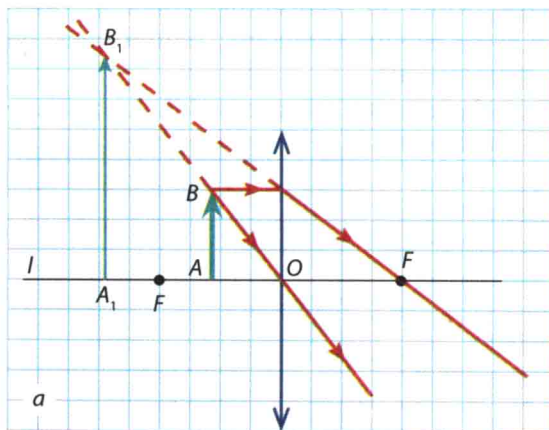


Рис. 3.63. а — побудова зображення A_1B_1 предмета у збиральній лінзі: предмет AB розташований між лінзою та її фокусом; б — за допомогою лупи можна отримати збільшене зображення предмета й розглянути його детальніше

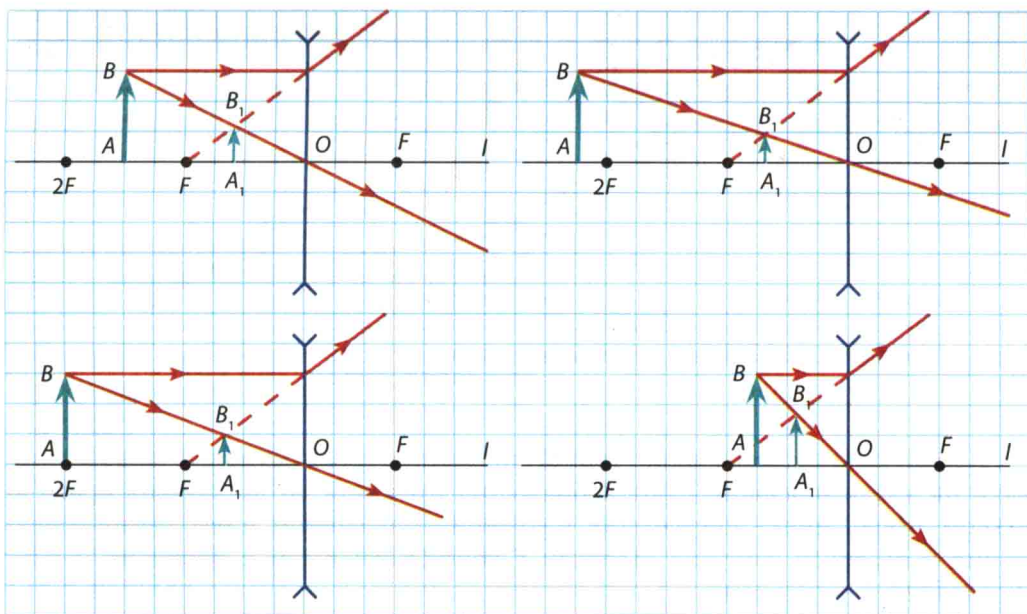


Рис. 3.64. Побудова зображень A_1B_1 предмета, створюваних розсіювальною лінзою, у разі різного розташування предмета AB відносно лінзи

зи, що й сам предмет. Таке зображення можна отримати за допомогою лупи (рис. 3.63, б) або мікроскопа.

Отже, розміри та вид зображення, одержаного за допомогою збиральної лінзи, залежать від відстані між предметом і цією лінзою.

Уважно розгляньте рис. 3.64, на якому показано побудову зображення предмета, одержаного за допомогою розсіювальної лінзи. Побудова показує, що розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення предмета, розташоване з того самого боку від лінзи, що й сам предмет.

Ми часто зустрічаємось із ситуацією, коли предмет значно більший, ніж лінза (рис. 3.65), чи коли частина лінзи закрита непрозорим екраном (наприклад, лінза об'єктива фотоапарата). Як створюється зображення в цих випадках? На рисунку видно, що промені 2 і 3 при цьому не проходять крізь лінзу. Однак ми, як і раніше, можемо використовувати ці промені для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи. Оскільки реальні промені, що вийшли з точки B , після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці — B_1 , то «зручні промені», за допомогою яких будуюмо зображення, теж перетнулися б у точці B_1 .

3 Знайомимося з формулою тонкої лінзи

Існує математична залежність між відстанню d від предмета до лінзи, відстанню f від зображення предмета до лінзи і фокусною відстанню F лінзи. Ця залежність називається **формулою тонкої лінзи** й записується так:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

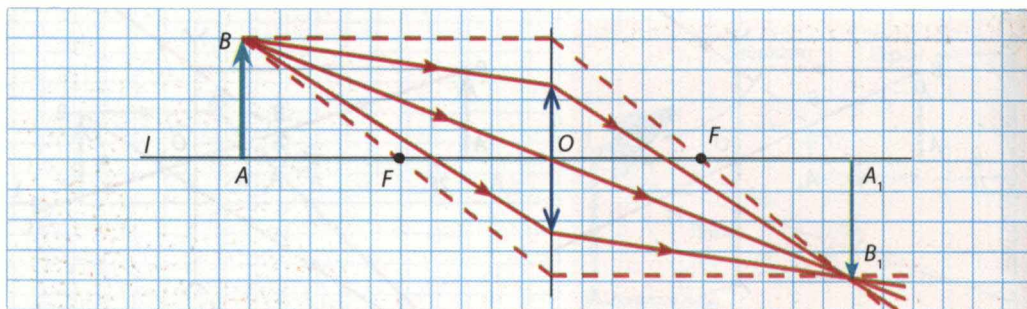


Рис. 3.65. Побудова зображення A_1B_1 предмета у випадку, коли предмет AB є значно більшим за лінзу

Користуючись формулою тонкої лінзи для розв'язування задач, слід мати на увазі: *відстань f* (від зображення предмета до лінзи) слід брати зі знаком *мінус*, якщо зображення є *уявним*, і зі знаком *плюс*, якщо зображення є *дійсним*; фокусна відстань F збиральної лінзи є додатною, а розсіювальної — від'ємною.

4

Вчимося розв'язувати задачі

Задача. Роздивляючись монету за допомогою лупи, оптична сила якої $+5$ дптр, хлопчик розташував монету на відстані 2 см від лупи. Визначте, на якій відстані від лупи хлопчик спостерігав зображення монети. Яким є це зображення — дійсним чи уявним?

Дано:

$$d = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

$$D = +5 \text{ дптр}$$

$f = ?$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі

Лупу можна вважати тонкою лінзою, тому, щоб знайти відстань від лупи до зображення, скористаємося формулою тонкої лінзи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (1).$$

Фокусна відстань F невідома, але ми знаємо, що $\frac{1}{F} = D$ (2),

де D — оптична сила лінзи, яку дано в умові задачі.

Розв'язання та аналіз результатів

Підставивши формулу (2) у формулу (1), отримуємо

$$D = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \text{ Звідси дістанемо: } \frac{1}{f} = D - \frac{1}{d} = \frac{Dd - 1}{d}, \text{ тобто}$$

$$f = \frac{d}{Dd - 1}.$$

$$\text{Перевіримо одиницю: } [f] = \frac{\text{м}}{\text{дптр} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\frac{1}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \text{м}.$$

Знайдемо числове значення:

$$\{f\} = \frac{0,002}{5 \cdot 0,002 - 1} = -0,21; \quad f = -0,21 \text{ м} = -21 \text{ см}.$$

Проаналізуємо результат: знак « $-$ » говорить про те, що зображення є уявним.

Відповідь: $f = -21$ см, зображення уявне.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Залежно від виду лінзи (збиральна чи розсіювальна) і місця розташування предмета відносно цієї лінзи одержують різні зображення предмета за допомогою лінзи (див. таблицю):

Місце розташування предмета	Характеристика зображення	
	у збиральній лінзі	у розсіювальній лінзі
За подвійним фокусом лінзи ($d > 2F$)	дійсне, зменшене, перевернуте	уявне, зменшене, пряме
Між фокусом і подвійним фокусом лінзи ($F < d < 2F$)	дійсне, збільшене, перевернуте	
Між лінзою і фокусом ($d < F$)	уявне, збільшене, пряме	

Таким чином, за типом зображення можна судити як про вид лінзи, так і про місце розташування предмета відносно неї.

Відстань d від предмета до лінзи, відстань f від зображення до лінзи і фокусна відстань F пов'язані формулою тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.



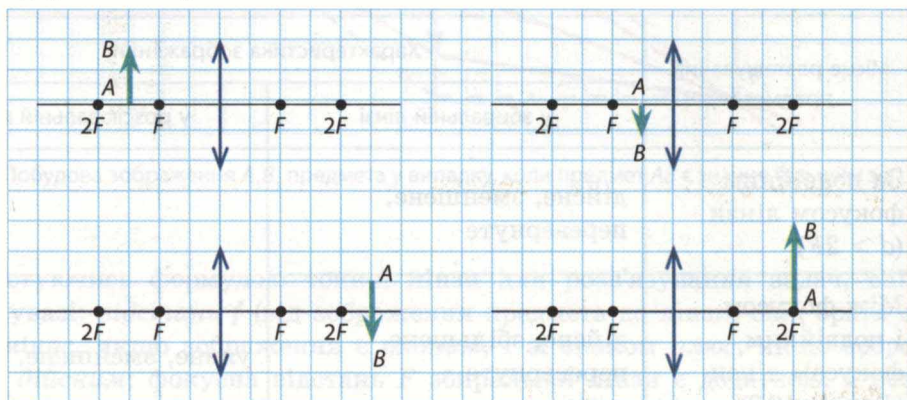
Контрольні запитання

1. Від чого залежать характеристики зображень, одержуваних за допомогою збиральної лінзи? 2. Які промені зручно використовувати для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи? 3. Чи можна одержати дійсне зображення за допомогою збиральної лінзи? розсіювальної лінзи? 4. Чи можна одержати уявне зображення за допомогою збиральної лінзи? розсіювальної лінзи? 5. За допомогою лінзи отримано зображення якогось предмета. У якому випадку його можна побачити на екрані — коли це зображення є дійсним чи коли воно уявне? 6. На якій відстані від лінзи має бути предмет, щоб розміри самого предмета і його зображення були однаковими? 7. Чи можна за характеристиками зображення, одержаного за допомогою лінзи, визначити, якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною? 8. Назвіть відомі вам оптичні прилади, у яких є лінзи. 9. Які фізичні величини пов'язує формула тонкої лінзи? 10. Якого правила слід дотримуватися, застосовуючи формулу тонкої лінзи?

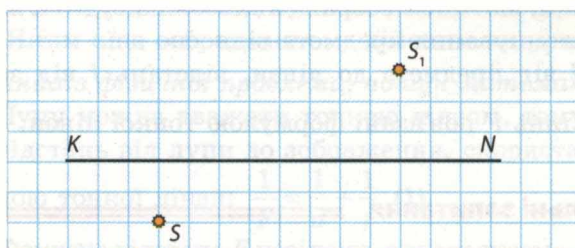


Вправи

1. Перенесіть рисунок до зошита і для кожного випадку побудуйте зображення предмета AB у збиральній лінзі. Схарактеризуйте одержані зображення.



2. На рисунку показано головну оптичну вісь лінзи KN , світну точку S та її зображення S_1 . Перенесіть рисунок до зошита й за допомогою відповідних побудов визначте розташування оптичного центра та фокусів лінзи. Визначте тип лінзи й тип зображення.



3. Предмет розташований у фокусі збиральної лінзи. Покажіть графічно, що зображення в цьому випадку не утворюється.
4. На аркуш із друкованим текстом потрапила крапля прозорого клею. Чому літери, що опинилися під краплею, здаються більшими, ніж сусідні?
5. Оптична сила лінзи 5 дптр. На якій відстані від лінзи потрібно розташувати запалену свічку, щоб одержати зображення полум'я свічки натуральної величини? Зробіть схематичне креслення, що пояснює ваше розв'язання.
6. Виконуючи лабораторну роботу, учень за допомогою лінзи дістав на екрані чітке зображення волоска розжарення електричної лампочки. Якими є фокусна відстань і оптична сила лінзи, якщо відстань від електричної лампочки до лінзи 30 см, а відстань від лінзи до екрана 15 см?

7. Предмет розташований на відстані 1 м від лінзи. Уявне зображення предмета розташоване на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною?
8. Лампочка розташована на відстані 12,5 см від збиральної лінзи, оптична сила якої 10 дптр. На якій відстані від лінзи вийде зображення лампочки?
9. За допомогою лінзи на екрані отримали чітке зображення предмета. Визначте оптичну силу лінзи, якщо предмет розташований на відстані 60 см від лінзи. Відстань між предметом та екраном дорівнює 90 см.



Експериментальне завдання

Використовуючи свічку, збиральну лінзу й екран, отримайте на екрані збільшене зображення полум'я свічки. Затуліть половину лінзи непрозорим екраном. Опишіть і поясніть явище, яке спостерігається.

Фізика й техніка в Україні

Державне підприємство завод «Арсенал» (м. Київ) було засноване в 1764 році як «арсенальні майстерні» для ремонту й виготовлення різних видів озброєнь, у тому числі артилерійських. З 1946 року підприємство перепрофілювалося на випуск оптичних, оптико-механічних і оптико-електронних приладів. Усі космічні старты колишнього СРСР і Росії забезпечувались оптико-електронними системами орієнтування, випущеними на заводі «Арсенал».

Одним із найвідоміших видів продукції заводу є *фототехніка*, історія якої почалася з першої масової фотокамери «Київ-2» (1949 р.). Фотоапарати, створені арсенальцями, використовувалися для фотозйомки з борту космічних кораблів серії «Восток», «Союз», місячних кораблів серій «Луна» і «Зонд», орбітальної станції «Салют», а також у відкритому космосі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12



Тема. Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої збиральної лінзи.

Мета роботи: обчислити оптичну силу й визначити фокусну відстань тонкої збиральної лінзи за допомогою формули тонкої лінзи.

Обладнання: збиральна лінза на підставці, екран, джерело світла, мірна стрічка.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Готування до експерименту

Перш ніж братися до роботи, згадайте формулу тонкої лінзи та формулу зв'язку оптичної сили лінзи і її фокусної відстані.

Експеримент

1. Розташувавши лінзу між джерелом світла і екраном, дістаньте на екрані різке зменшене зображення джерела світла.
2. Виміряйте відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана.
3. Пересуваючи лінзу, дістаньте на екрані чітке збільшене зображення джерела світла.
4. Знову виміряйте відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана.

Оброблення результатів експерименту

Використовуючи відповідні формули, обчисліть оптичну силу лінзи D і фокусну відстань F . Результати вимірювань і обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліду	f , м	d , м	F , м	D , дптр
1				
2				

Аналіз результатів експерименту

1. Порівняйте одержане вами значення оптичної сили лінзи з її значенням, наведеним у паспорті. Назвіть причину можливої розбіжності.
2. Зробіть висновок.

§ 28. ОКО ЯК ОПТИЧНА СИСТЕМА

■ Ви вже знаєте, що більшу частину інформації про навколишній світ ми одержуємо завдяки зору. Органом зору людини є око — один із найдосконаліших і водночас найпростіших оптичних приладів. Як же влаштоване око? Чому деякі люди погано бачать і як скоригувати їхній зір? Як з особливостями людського ока пов'язане виробництво мультиплікаційних фільмів?

1**Знайомимося з будовою ока**

Око людини має кулясту форму (рис. 3.66). Діаметр очного яблука близько 2,5 см. Іззовні око вкрите щільною непрозорою оболонкою — **скле-рою**. Передня частина склери переходить у прозору рогову оболонку — **рого-вівку**, що діє як збиральна лінза й забезпечує 75 % здатності ока заломлювати світло.

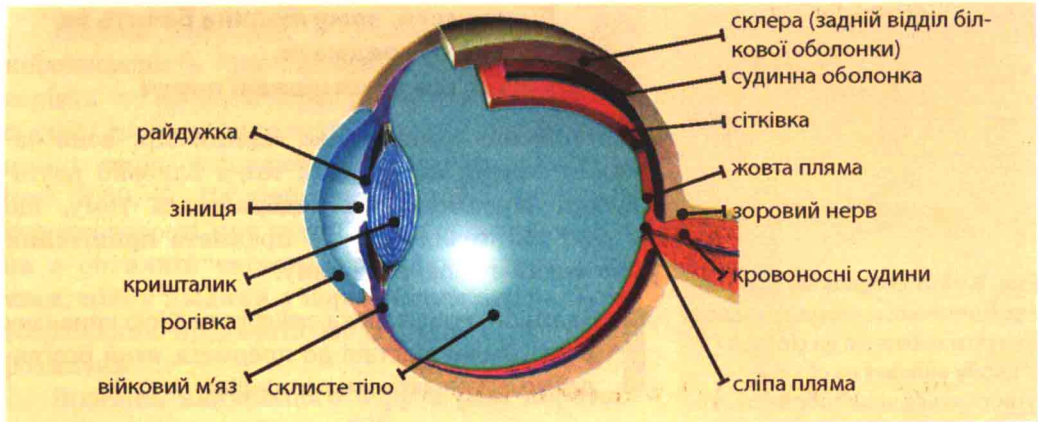


Рис. 3.66. Будова ока

Із внутрішнього боку склера вкрита *судинною оболонкою*, що складається з кровоносних судин, які живлять око. У передній частині ока судинна оболонка переходить у *радужну оболонку*, яка неоднаково забарвлена в різних людей. У радужній оболонці є круглий отвір — *зіниця*. *Зіниця* звужується в разі посилення інтенсивності світла й розширюється в разі ослаблення.

Здатність ока пристосовуватися до різної яскравості предметів, що спостерігаються, називають адаптацією.

За зіницею розташований **кришталік**, який являє собою двоопуклу лінзу. Кришталік, завдяки скріпленім із ним м'язам, може змінювати свою кривизну, а отже, і оптичну силу.

Судинна оболонка з внутрішнього боку ока вкрита *сітківкою* — розгалуженнями світлочутливого нерва. Найчутливіша частина сітківки розташована прямо навпроти зіниці й називається *жовтою плямою*. Місце, де зоровий нерв входить в око, несприйнятливий до світла, тому дістало назву *сліпа пляма*.

У утворенні зображення також бере участь *склисте тіло* — прозора драглиста маса, що заповнює простір між кришталіком і сітківкою. Світло, яке потрапляє на поверхню ока, заломлюється в рогівці, кришталіку та склистому тілі. У результаті на сітківці виходить **дійсне, перевернуте, зменшене зображення предмета** (рис. 3.67).

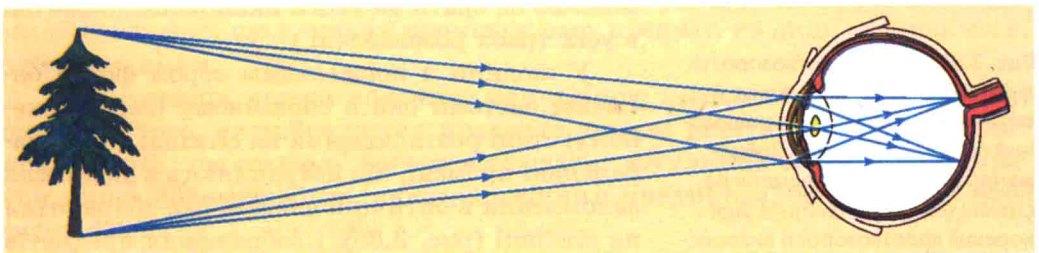


Рис. 3.67. Зображення, що виходить на сітківці ока, — дійсне, перевернуте, зменшене

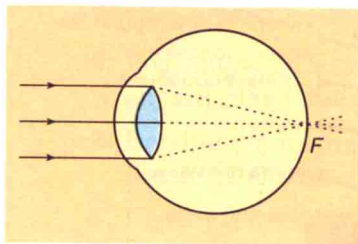


Рис. 3.68. У спокійному стані фокус F оптичної системи здорового ока розташований на сітківці. У цьому випадку на сітківці утворюється чітке зображення віддалених предметів

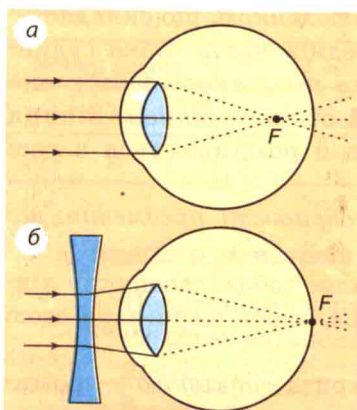


Рис. 3.69. У разі короткозорості в спокійному стані ока фокус F оптичної системи ока розташований перед сітківкою (а). Зображення віддалених предметів на сітківці виходить нечітким. Для корекції короткозорості використовують окуляри з розсіювальними лінзами (б)

2

Дізнаємося, чому людина бачить як віддалені предмети, так і ті, що розташовані поруч

Якщо людина має гарний зір, вона бачить чіткими як далеко, так і близько розташовані предмети. Це відбувається тому, що в разі зміни відстані до предмета кришталик ока змінює свою кривизну.

Здатність кришталика змінювати свою кривизну в разі зміни відстані до предмета, який розглядаємо, називають **акомодацією**.

Якщо людина дивиться на досить віддалені предмети, в око потрапляють паралельні промені — у цьому випадку око найкраще розслаблене. (Зауважте, що, замислившись, людина дивиться ніби вдалину!) Чим ближче розташований предмет, тим сильніше напружується око. Найменшу відстань, на якій око бачить предмет, практично не напружуючись, називають відстанню найкращого зору. Для людей із нормальним зором ця відстань дорівнює приблизно 25 см. Саме на такій відстані людина з добрим зором читає книжку.

3

З'ясуємо, що таке короткозорість і далекозорість і якими є способи їх корекції

Щоб краще розібратися, що відбувається в оптичній системі ока в разі *короткозорості* й *далекозорості* і як коригуються ці вади зору, уявімо таку ситуацію. Троє людей, один із яких має нормальний зір, другий — короткозорість, а третій — далекозорість, дивляться на ті самі предмети, розташовані досить далеко, наприклад на зорі. (У цьому випадку ми можемо не брати до уваги акомодатії, адже очі в усіх трьох розслаблені.)

У людини з нормальним зором фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований на сітківці, тобто паралельні промені, що потрапляють в око, після заломлення в оптичній системі ока збираються на сітківці (рис. 3.68), і зображення предметів на ній є чітким.

Інакша ситуація в людей, котрі мають короткозорість чи далекозорість. **Короткозорість** — це вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований перед сітківкою (рис. 3.69, а). Це відбувається тому, що в разі короткозорості кут заломлення світлового пучка в оптичній системі ока виявляється більшим, ніж у людини з нормальним зором. Тому зображення предметів на сітківці є нечітким, розмитим.

Відстань найкращого зору в разі короткозорості менша від 25 см. Саме тому короткозора людина, щоб роздивитися предмет у руках, підносить його близько до очей. Короткозорість коригується носінням окулярів із розсіювальними лінзами (рис. 3.69, б).

Далекозорість — це вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований за сітківкою (рис. 3.70, а). Це відбувається тому, що в разі далекозорості кут заломлення світлового пучка в оптичній системі ока виявляється меншим, ніж у людини з нормальним зором. Зображення предметів на сітківці також буде нечітким, розмитим.

Відстань найкращого зору в разі далекозорості більша, ніж 25 см, тому, роздивляючись предмет у руках, людина відсуває його від очей. Далекозорість коригується носінням окулярів зі збиральними лінзами (рис. 3.70, б).

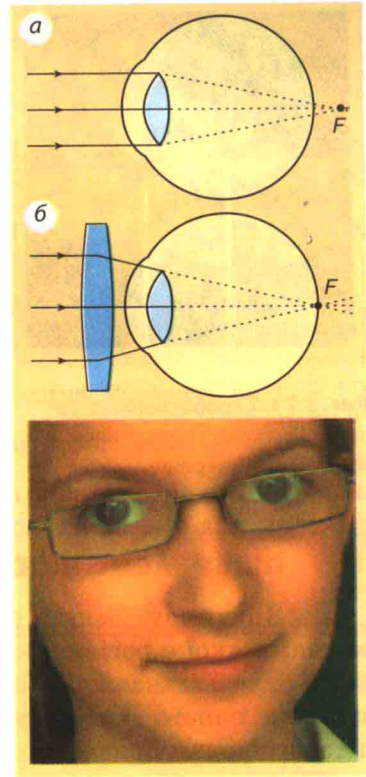


Рис. 3.70. У разі далекозорості в спокійному стані ока фокус F оптичної системи ока розташований за сітківкою (а). Зображення віддалених предметів на сітківці виходить нечітким. Для корекції далекозорості використовують збиральні лінзи (б)

4 Знайомимося з інерцією зору

Якщо швидко переміщувати в темряві «бенгальський вогонь», то спостерігач побачить світні фігури, утворені «вогняним контуром». Різнобарвні лампочки каруселі під час швидкого обертання, зливаючись, утворюють кільця. Наші очі весь час кліпають, а оскільки ці рухи є доволі швидкими, ми не помічаємо, що у певний проміжок часу предмет, на який ми дивимося, стає невидимим.

Усі ці явища можна пояснити так званою *інерцією зору*. Річ у тому, що після того, як зображення предмета зникає із сітківки ока (предмет прибирають, перестають його освітлювати, затуляють непрозорим екраном тощо), зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається протягом 0,1 с.

Зорову інерцію широко використовують в анімаційному кіно. Картинки на екрані дуже швидко (24 рази за секунду) змінюють одна одну, під

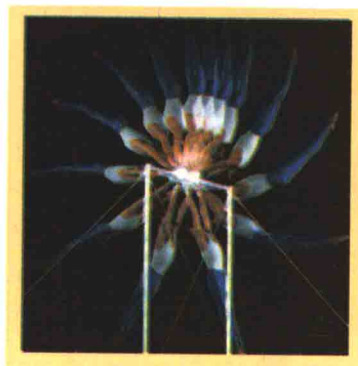


Рис. 3.71. Стробоскопічна фотографія гімнаста, який виконує вправи на поперечці

час їх зміни екран не освітлюється, але глядач цього не помічає — він просто бачить низку картинок, що чергуються. У такий спосіб на екрані створюється ілюзія руху. (А тепер уявіть, скільки картинок потрібно намалювати художникам, щоб одержати повнометражний мультиплікаційний фільм!)

На інерції зору також базується застосування *стробоскопа*. (Стробоскоп являє собою джерело світла, що випромінює світлові спалахи через певні, дуже малі проміжки часу.) Під час фотографування об'єктів, що освітлені стробоскопом, ми отримуємо стробоскопічні фотографії (рис. 3.71).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

З погляду фізики, око являє собою оптичну систему, основними елементами якої є рогівка, кришталик та склисте тіло.

У результаті заломлення світла в цій оптичній системі на світлочутливій поверхні очного дна — сітківці — утворюється зменшене, дійсне, перевернуте зображення предмета.

Якщо оптична система ока збирає промені перед сітківкою, то зображення предмета на сітківці буде розмитим — такий дефект зору називається короткозорістю. Короткозорість коригують носінням окулярів із розсіювальними лінзами.

Якщо оптична система ока слабко заломлює промені, то продовження променів перетинаються за сітківкою — такий дефект зору називається далекозорістю. Далекозорість коригують носінням окулярів зі збиральними лінзами.

Після того як зображення предмета зникає із сітківки ока, зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається у свідомості людини протягом 0,1 с. Цю властивість називають інерцією зору.



Контрольні запитання

1. Опишіть будову людського ока та призначення окремих його елементів.
2. Які характеристики має зображення, що виникає на сітківці ока?
3. Як змінюється діаметр зіниці в разі зменшення освітленості?
4. Чому людина з нормальним зором може однаково чітко бачити як далеко, так і близько розташовані предмети?
5. Чому дорівнює відстань найкращого зору для людини з нормальним зором?
6. Який дефект зору називається короткозорістю? Як його можна відкоригувати?
7. Який дефект зору називається далекозорістю? Як його можна відкоригувати?
8. Яку властивість зору називають інерцією зору?



Вправи

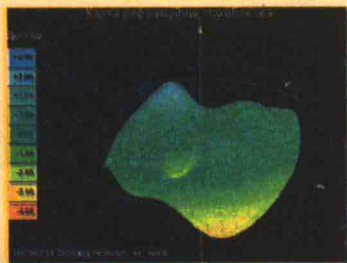
1. Чому кривизна кришталика ока риби більша, ніж у людини?
2. Оптична сила нормального ока змінюється від 58,6 до 70,6 дптр. Визначте, у скільки разів змінюється при цьому фокусна відстань ока.
3. На якій мінімальній відстані від ока слід розташувати дзеркальце, щоб побачити чітке зображення ока?
4. Оптична сила лінз бабусиних окулярів $-2,5$ дптр. Якою є фокусна відстань цих лінз? Який дефект зору має бабуся?
5. Чому, щоб краще бачити, короткозора людина мружить очі?
6. Чому навіть у чистій воді людина без маски погано бачить?
7. Хлопчик читає книжку, тримаючи її на відстані 20 см від очей. Визначте оптичну силу лінз, які необхідні хлопчику для читання на відстані найкращого зору (за умов нормального зору).



Експериментальні завдання

1. Запропонуйте спосіб, за допомогою якого можна визначити, який дефект зору (короткозорість чи далекозорість) коригують ті або інші окуляри. Постарайтесь знайти кілька різних окулярів (попросіть у домашніх, сусідів і т. д.) і переконайтесь у правильності свого способу.
2. Перевірте на досліді властивість ока змінювати діаметр зіниці залежно від освітленості об'єкта розглядання. Для спостереження змін діаметра зіниці скористайтесь дзеркалом.

Фізика й техніка в Україні



Наприкінці минулого століття вченим вдалося встановити, що заломлення світлового променя, який потрапляє в око, різне у різних точках ока через те, що поверхня рогівки не є ідеально гладенькою, а кришталик не є однорідним (див. рисунок).

Для виправлення зору було запропоновано методику згладжування поверхні рогівки за допомогою лазерного випромінювання. Однак щоб ця технологія дійсно запрацювала, треба було знати, яку саме кількість речовини кришталика слід видалити в конкретному місці.

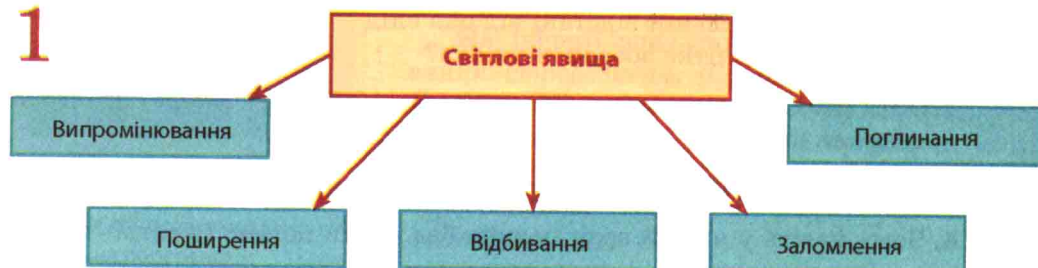
Тобто було необхідно виміряти реальний профіль кришталика. Проте око не стоїть спокійно, отже, треба було зробити це вимірювання дуже швидко (за частки секунди).

У Німеччині, Японії, Іспанії та США розпочалося шалене змагання вчених та інженерів за створення такого вимірювального приладу. Однак перший у світі рейтрейсинговий абетометр був створений колективом українських учених під керівництвом професора Василя Молебного.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ З «СВІТЛОВІ ЯВИЩА»

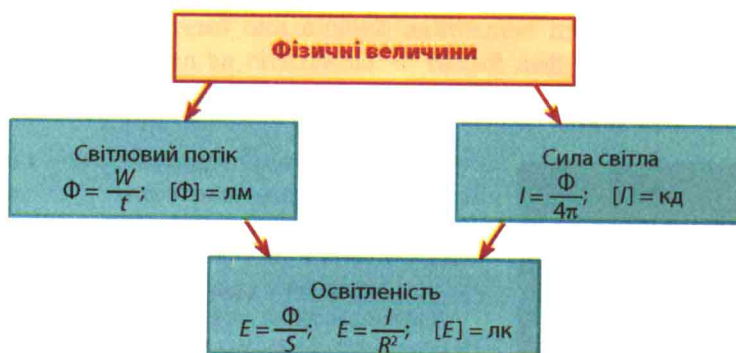
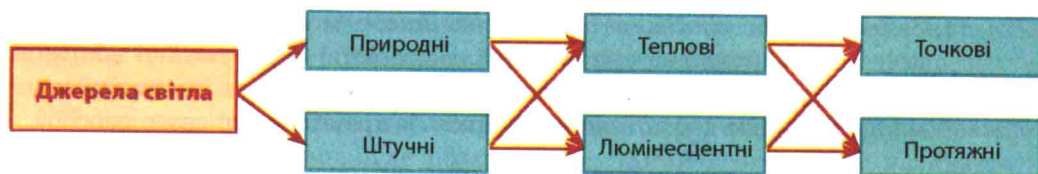
■ У цьому розділі ви ознайомилися з деякими оптичними явищами, їхніми законами, а також фізичними величинами, що характеризують об'єкти, які випромінюють світло.

1



2

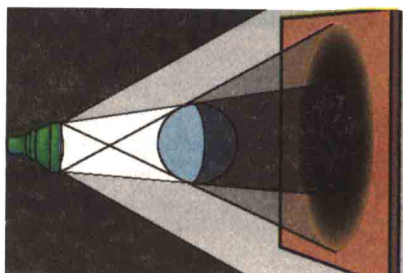
Світло випромінюється джерелами світла. Ви ознайомилися з різними видами джерел світла та деякими фізичними величинами, що їх характеризують.



3

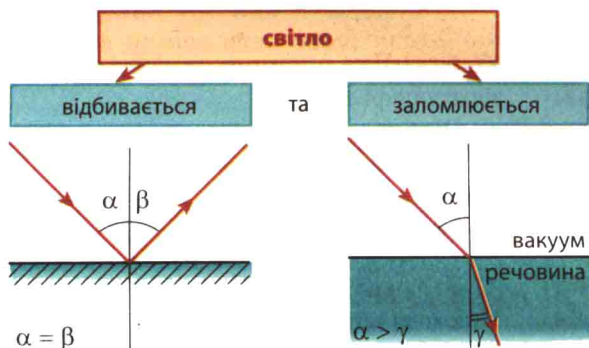
Ви переконалися, що в прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.

Наслідок прямолінійного поширення світла — утворення повної тіні й півтіні.

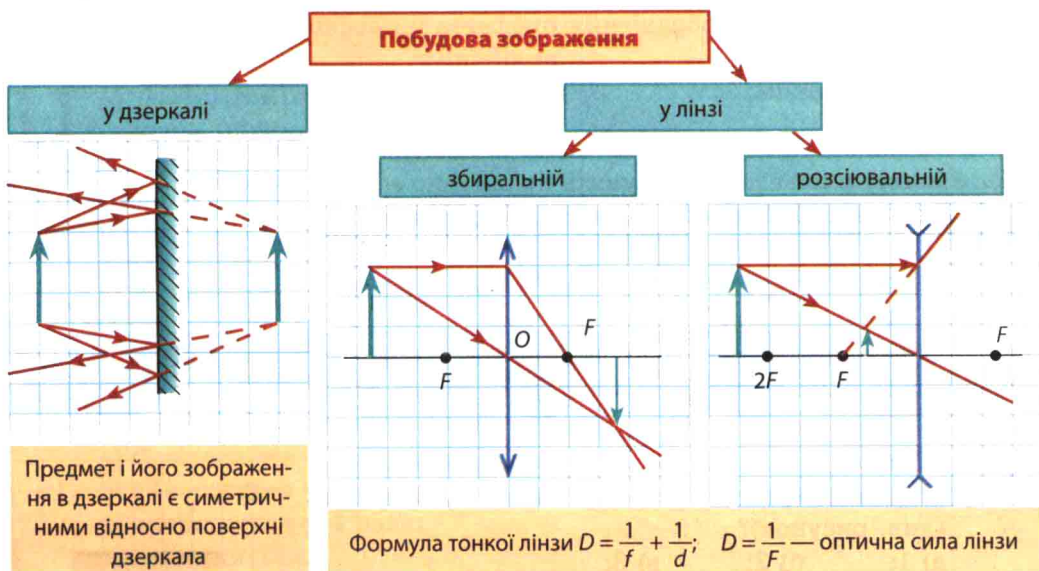


4 Ви з'ясували, що на межі поділу двох середовищ...

Промінь падаючий, відбитий, заломлений, а також перпендикуляр, поставлений з точки падіння променя лежать в одній площині.



5 Ви навчилися будувати зображення в плоскому дзеркалі, збиральній і розсіювальній лінзах.



6 Ви познайомилися з оптичними приладами, у яких застосовуються лінзи.



ТЕСТ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3 «СВІТЛОВІ ЯВИЩА»

1 (1 бал) Яке оптичне явище ілюструє фотографія?

- а) Відбивання світла;
- б) поглинання світла;
- в) дисперсію світла;
- г) заломлення світла.



2 (1 бал) Який закон підтверджується існуванням сонячних і місячних затемнень?

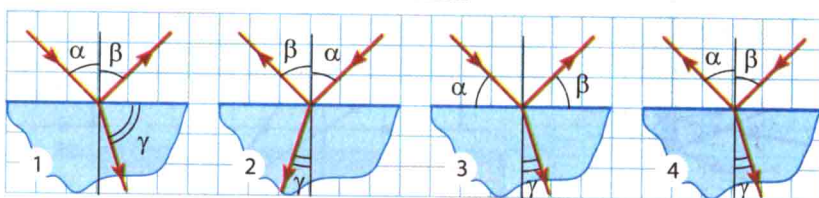
- а) Закон відбивання світла;
- б) закон прямолінійного поширення світла;
- в) закон заломлення світла;
- г) закон збереження енергії.

3 (1 бал) Яким є зображення предмета у плоскому дзеркалі?

- а) Збільшеним;
- б) зменшеним;
- в) дійсним;
- г) уявним.

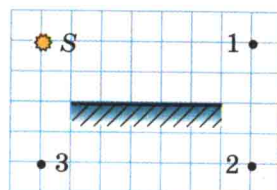
4 (2 бали) Промінь світла падає з повітря на пластинку зі скла. На якому з наведених рисунків правильно зазначено всі три кути — кут падіння, відбивання та заломлення світла?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



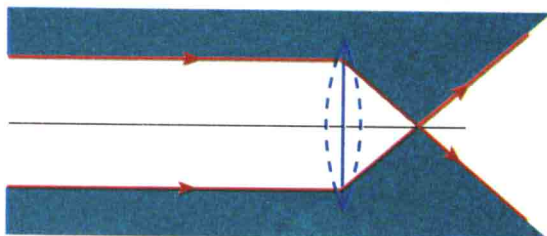
5 (2 бали) У якій точці розташоване зображення джерела світла S у плоскому дзеркалі (див. рисунок)?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) за такого розміщення джерела світла S його зображення в дзеркалі немає.



6 (2 бали) Чому дорівнює оптична сила лінзи, що зображена на рисунку (масштаб 1 : 1)?

- а) 1 дптр;
- б) 100 дптр;
- в) -100 дптр;
- г) 0,01 дптр.



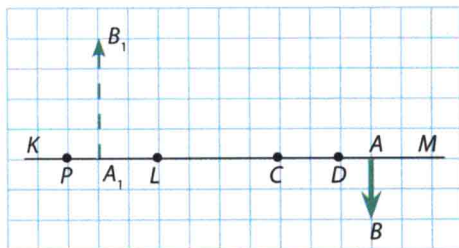
- 7** (2 бали) Яку ваду зору має людина, що носить окуляри, нижня частина яких — опуклі стекла, а верхня частина — плоскі?
 а) Далекозорість; в) людина не має вади зору;
 б) короткозорість; г) за умовами задачі визначити неможливо.

- 8** (2 бали) Під час фотографування на об'єктив фотоапарата сіла муха. Як це вплине на знімок?
 а) Ніяк не вплине; в) фотознімок буде менш яскравим;
 б) з'явиться зображення мухи; г) фотознімок буде більш яскравим.

- 9** (3 бали) Кут падіння променя на дзеркальну поверхню дорівнює 70° . Чому дорівнює кут між відбитим променем і дзеркальною поверхнею?
 а) 20° ; б) 70° ; в) 40° ; г) 140° .

- 10** (4 бали) Предмет розташований на відстані 1 м від збиральної лінзи з фокусною відстанню 0,5 м. На якій відстані від лінзи розташоване зображення предмета?
 а) 1,5 м; б) 0,5 м; в) 1 м; г) 2 м.

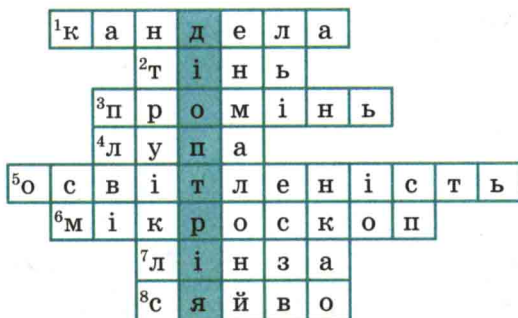
- 11** (5 балів) На рисунку показано головну оптичну вісь KM лінзи, предмет AB і його зображення A_1B_1 . Визначте графічно розташування одного з фокусів лінзи.
 а) L ; б) D ; в) C ; г) P .



- 12** (5 балів) Як зміниться освітленість предмета, якщо відстань від предмета до джерела світла збільшити у 2 рази, а силу світла цього джерела збільшити в 4 рази?
 а) Освітленість збільшиться у 8 разів;
 б) зменшиться у 2 рази;
 в) зменшиться у 4 рази;
 г) не зміниться.

- 13** (6 балів) Складіть питання до заповненого кросворда.

Звірте ваші відповіді на запитання 1—12 із наведеними наприкінці підручника. Щоб перевірити останнє завдання тесту, зверніться до відповідних параграфів. Позначте питання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших знань.



За останні кілька років завдяки прогресу в електроніці унікальні наукові винаходи стали загальнодоступними. Прогрес в електроніці докорінно змінив як джерела, так і приймачі світла. Розпитайте ваших батьків про те, як виготовлялася фотокартка десять і більше років тому. Виявляється, це була досить складна процедура. Для вас же стало звичним, побачивши цікавий сюжет, навести на нього камеру мобільного телефону, натиснути відповідну кнопку й миттєво переслати готове зображення друзям.

Наведемо ще один приклад. Ваші бабусі та дідусі читали про вузький спрямований пучок світла, що має унікальні властивості, тільки в науковій фантастиці. У наш час лазерний промінь застосовується настільки широко, що навіть найсміливіші фантасти середини минулого століття не могли б собі цього уявити. То що ж, виходить, ви марно вивчали останню главу цього підручника і розділ фізики під назвою «Оптика» безнадійно застарів?

Давайте-но зопалу не робити висновків і розглянемо деякі з сучасних оптичних пристроїв докладніше.

Лазер

Усі ви, звичайно, бачили лазерні шоу в цирку або на естрадних концертах. Тонкі світлові голки пронизують простір залу, швидко пролітають над нашими головами. Захоплює видовище!

На рисунку показано один із видів лазерів — газовий. Яскравий світлий «шнур» у скляній трубці — це не лазерний промінь, а електричний розряд, подібний до розряду в лампах денного світла. Сам же промінь проектується на екран праворуч у вигляді маленької червоної точки.

Розряд служить для «накачування» робочого тіла (газу всередині скляної трубки). Процес накачування полягає в тому, що атоми газу поступово набувають надлишкової енергії від електричного розряду, а потім лавиноподібно віддають її у вигляді імпульсу (спалаху) світла.

За назвою речовини робочого тіла почали класифікувати й самі лазери: газові, рідинні та найбільш зручні для побутових цілей — твердотільні лазери.

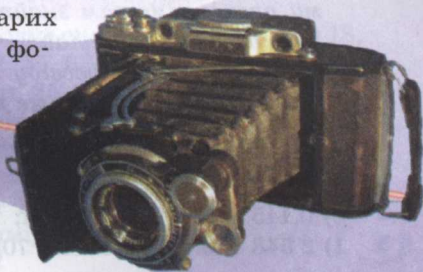
Естрадні шоу — далеко не єдине застосування лазерів. Ці пристрої широко застосовуються в медицині, військовій справі тощо.



Газовий лазер («лазер» (LASER) — перші літери від англійських слів Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — підсилення світла з допомогою вимушеного випромінювання)

Цифровий фотоапарат

Приймальним пристроєм у фотоапараті старих конструкцій була фотоплівка. У цифрових же фотоапаратах таким приймальним пристроєм служить пластинка, вкритая найдрібнішими світловими датчиками (пікселями). Кожний із цих датчиків фіксує «шматочок» світлового потоку. Що менший розмір пікселя, то якісніше зображення можна отримати. Приймальна пластинка стандартного фотоапарата нараховує 3—5 мільйонів пікселів. Кількість пікселів у мобільному телефоні значно менша, оскільки зйомка — не основна функція телефону. Відповідно і якість знімків гірша.



Мікропроцесор фотоапарата обробляє інформацію від сенсорів і запам'ятовує її у вигляді окремого файлу.

Історія фотографії нараховує більше 150 років. Але й у старому фотоапараті, і в найсучаснішому, вбудованому в мобільний телефон, одним із найважливіших елементів є оптична система, котра має забезпечити різке зображення різних об'єктів зйомки: і вашого приятеля, що стоїть поруч,

і далеких гір, що видніють на обрії. Схоже, зарано списувати оптику в архів, конструктору сучасних фотоапаратів і відеокамер вона ще стане в пригоді.

Це цікаво

Дуже часто створювачі сучасних фільмів свідомо (або через нестачу знань) перекручують інформацію про можливості лазерів. Наведемо лише кілька прикладів.

Скільки не дими, все одно не побачиш. У багатьох фільмах, щоб виявити охоронну сигналізацію, герої випускають клуби диму — і промені лазера стають видимими. Насправді інфрачервоні (невидимі для ока) лазери зробити набагато простіше. Саме їх і використовують у стандартних охоронних системах. Інфрачервоний промінь, скільки його не задимляй, все одно залишається непомітним для ока.

Бережіть очі. Лазери у фільмах (і це відповідає дійсності) застосовують для розрізання металевих перешкод (двері сейфа, ґрати). Ось тільки герої фільму часто забувають про захист себе від відбитих променів. Відбиток надпотужного променя від розрізуваного металу буде також досить потужним. Відтак, як мінімум, **бережіть очі!**

Спробуй наздожени. Іноді творці фільмів демонструють, що процес поширення променя подібний до польоту кулі. Це, безумовно, не так. Швидкість кулі складає кількасот метрів за секунду. Тому її політ може бути справді зареєстрований із допомогою швидкісної кінозйомки. А ось аналогічним чином простежити за процесом поширення світлового променя (нагадаємо, що швидкість світла величезна — 300 000 км/с) сучасні механічні прилади не зможуть.



Ми наводимо відповіді тільки на кількісні задачі. Відповіді на якісні задачі ми пропонуємо вам знайти самим. Щоб пошук відповіді завершився вдало, завжди уважно читайте текст параграфа та обов'язково звертайтеся до свого життєвого досвіду. Пам'ятайте, що фізика — це наука про природу. Опанувати фізику може кожний, якщо докладе зусиль.

Розділ 1

§ 3 3) 0,145 м; 1500 м; 2032 м; 4) 7,5 мкм; 5,9 Тм; 6,4 Мм.

§ 5 1) 2 548 800 с; 42 480 хв; 708 год; 2) одночасно; 3) 14 год.

Тест для самоперевірки до розділу 1

Номер завдання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Правильний варіант відповіді	а	б	в	б	б	г	в	в	в	а	г

Розділ 2

§ 9 1) 5300 кг; 250 кг; 4,7 кг; 0,15 кг; 2) 5230 г, 5,23 кг; 270,84 г, 0,27084 кг; 56,91 г, 0,05691 кг; 764,02 г, 0,76402 кг; 3) 145,23 г, 0,14523 кг; 4) 189 г 740 мг.

§ 10 3) Маса меду більша, ніж маса олії в 1,58 разу; 4) об'єм кубика з оргскла менший, ніж об'єм кубика з дуба в 1,5 разу.

§ 11 1) Із сосни ($\rho = 0,44 \text{ г/см}^3$); 2) 100 л; 3) 10 л; 4) порожниста ($\rho_{\text{сер}} = 1,01 \text{ г/см}^3$); 5) маса повітря більша ($m_n = 1290 \text{ кг}$); 6) 0,4 кг; 7) 1200 т.

§ 12 4) $5 \cdot 10^6$; 5) приблизно у 3 рази; 6) діаметр молекул приблизно 1 нм.

§ 16 7) 0,000019 $1/^\circ\text{C}$; 8) 1111 $^\circ\text{C}$; 9) 59 см^2 .

Тест для самоперевірки за розділом 2

Номер завдання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Правильний варіант відповіді	в	в	а	в	в	а	г	в	а	б	б	а	б	б

Розділ 3

§ 17 3) $94,6 \cdot 10^{14}$ м; 4) 500 с.

§ 18 1) 1256 лм; 2) 150 кд.

§ 19 4) 1000 лм; 5) 12,84 лк; недостатньо; 6) на 0,29 м.

§ 21 2) 0° ; 3) 30° ; 4) 40° ; 5) 18° .

§ 22 1) 3 м; 3) 8 км/год; 4) м.

§ 23 1) 0° ; 4) 40° ; 5) приблизно 125 000 км/год.

§ 26 1) -50 дптр; розсіювальна.

§ 27 5) 0,4 м; 6) 0,1 м; 10 дптр; 7) -3 дптр; розсіювальна; 8) 0,5 м; 9) 5 дптр.

§ 28 2) Зменшується в 1,2 разу; 3) 12,5 см; 4) 0,4 м; далекогозорість; 7) -1 дптр.

Тест для самоперевірки за розділом 3

Номер завдання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Правильний варіант відповіді	а	б	г	б	в	б	а	в	а	в	б	г

Агрегатний стан речовини 94

адаптація 179

акомодація 180

атом 80

Відбивання світла 143

— повне 158

взаємодія гравітаційна 39

— електромагнітна 40

Гіпотеза 13

головна оптична вісь лінзи 166

густина речовини 67

Діоптрія 167, 168

далекозорість 181

джерело світла 114

— люмінесцентне 116

— природне 115

— протяжне 116, 117

— теплове 116

— точкове 116, 117

— штучне 115

джоуль 44

дзеркало плоске 140, 141

дисперсія світла 160

дифузія 86

Експеримент 12

енергія 44, 119

еталон 62

Зіниця 179

закони відбивання 137

закон прямолінійного поширення
світла 129

заломлення світла 148

зображення 134, 142, 171, 172, 173

Кілограм 62

— на метр кубічний 68

камера-обскура 133

кандела 121

короткозорість 181

кристалічна ґратка 96

кут відбивання 137

— заломлення 151

— падіння 136

Лінійні розміри тіла 32

лінза 165

— збиральна 165

— розсіювальна 165

— тонка 165

люкс 123

люмен 121

Міжнародна система одиниць (СИ) 18,
32, 35, 62, 121

мікросвіт 25

макросвіт 25

маса тіла 61

матерія 7

мегасвіт 26

межа вимірювання 19

метр 32

— квадратний 32

— кубічний 35

метроном 30

молекула 80, 81

Ньютон 43

Одиниця кратна 18

одиниця частинна 18

око 178, 179

оптична густина середовища 150

— сила лінзи 167, 168, 169, 177

оптичний центр лінзи 166

освітленість 123

Півтінь 130

періодичний процес 28

повна тінь 130

поле 8

послідовність подій 27

приймач світла 117

Речовина 7, 60

— аморфна 97

— кристалічна 96

робота 43

Світловий потік 120

світловий промінь 128

секунда 28

секундомір 30

сила 43

— світла 121

спостереження 12

Тіло фізичне 7, 60

температурний коефіцієнт лінійного
розширення 102

тривалість події 27

Фізична величина 16, 17, 18

фокус лінзи 166, 167

фокусна відстань лінзи 167

формула тонкої лінзи 173

Ціна поділки 20

Явище 8

— природне 9

— фізичне 9

Дорогі друзі!	3
---------------------	---

Глава 1. Починаємо вивчати фізику

§ 1. Фізика — наука про природу. Фізичні тіла й фізичні явища	6
Лабораторна робота № 1	11
§ 2. Наукові методи вивчення природи	12
§ 3. Фізичні величини. Вимірювання фізичних величин	16
Лабораторна робота № 2	22
§ 4*. Кілька слів про точність вимірювань	23
§ 5. Світ, у якому ми живемо. Простір і час	25
Лабораторна робота № 3	30
Лабораторна робота № 4	32
Лабораторна робота № 5	34
§ 6. Взаємодія тіл	37
§ 7. Сила — міра взаємодії. Енергія	42
§ 8. Творці фізичної науки. Внесок українських учених у розвиток фізики	47
Підбиваємо підсумки розділу 1 «Починаємо вивчати фізику»	52
Тест для самоперевірки до розділу 1 «Починаємо вивчати фізику»	54

Глава 2. Будова речовини

§ 9. Фізичне тіло і речовина. Маса. Одиниці маси	60
Лабораторна робота № 6	65
§ 10. Густина. Одиниці густини	66
Лабораторна робота № 7	72
§ 11. Вчимося розв'язувати задачі	74
§ 12. Будова речовини. Атоми і молекули	80
§ 13. Рух молекул. Дифузія	85
Лабораторна робота № 8	90
§ 14. Взаємодія молекул	90
§ 15. Агрегатний стан речовини	94
§ 16. Залежність розмірів тіл від температури	100
Підбиваємо підсумки розділу 2 «Будова речовини»	106
Тест для самоперевірки за розділом 2 «Будова речовини»	108

Глава 3. Світлові явища

§ 17. Оптичні явища в природі. Джерела світла	114
§ 18. Фотометрія. Світловий потік. Сила світла	119
§ 19. Освітленість	122
§ 20. Закон прямолінійного поширення світла	127
Лабораторна робота № 9	133
§ 21. Відбивання світла. Закони відбивання світла	136
Лабораторна робота № 10	140
§ 22. Плоске дзеркало. Дзеркальне і розсіяне відбивання світла	141
§ 23. Заломлення світла	148
§ 24*. Повне відбивання	156
§ 25. Дисперсія світла. Спектральний склад світла	160
Лабораторна робота № 11	164
§ 26. Лінзи	165
§ 27. Побудова зображень, що дає тонка лінза. Формула тонкої лінзи	170
Лабораторна робота № 12	177
§ 28. Око як оптична система	178
Підбиваємо підсумки розділу 3 «Світлові явища»	184
Тест для самоперевірки за розділом 3 «Світлові явища»	186
Відповіді	190
Алфавітний покажчик	191

ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ КАБІНЕТУ ФІЗИКИ

1 Загальні положення

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

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

2 Вимоги безпеки перед початком роботи

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

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

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

2.4. Починайте виконувати завдання тільки з дозволу вчителя.

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

3 Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

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

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

Вимоги безпеки під час виконання роботи

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

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

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

4.4. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не доторкуйтесь до обертових частин машин і не нахилийтесь над ними.

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

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

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

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

4.9. Користуйтеся інструментом із заізольованими ручками.

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

4.11. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя.

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

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

Вимоги безпеки після закінчення роботи

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