Л. Е. Генденштейн

ФІЗИКА

ПІДРУЧНИК

7 клас

Л.Е.Генденштейн

ФІЗИКА

ПІДРУЧНИК

7 клас

Харків
«Гімназія»
2007

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Г34

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
(Лист № 1/11-2196 від 28.04.2007 р.)

Генденштейн Л. Е.
Г34 Фізика, 7 кл.: Підручник для середніх загальноосвітніх шкіл. — Х.: Гімназія, 2007. — 208 с.: іл.
ISBN 978-966-8319-67-9.

ББК 22.3я721

© Л.Е. Генденштейн, 2007
© ТОВ ТО «Гімназія», оригінал-макет, художнє оформлення, 2007

ISBN 978-966-8319-67-9

Наука не є і ніколи не буде закінченою книгою...

Альберт Ейнштейн

Безмежний океан істини лежав переді мною недосліджений....

Ісак Ньютон

Фізику написано у величній книзі, яку завжди відкрито перед нашими очима...

Галілео Галілей

ЮНІ ДРУЗІ!

Ви починаєте вивчати ***фізику*** — одну з основних наук про природу. Це — одна з найдавніших наук: слово «фізика» походить від давньогрецького слова, що означає «природа», адже будь-яке дослідження природи стародавні греки називали фізикою.

Однак, будучи «стародавньою» наукою, фізика зберігає вічну молодість. Особливо великих успіхів фізика досягла в останні кілька століть, що справило значний вплив на хід світової історії.

Потік відкриттів у фізиці продовжується й сьогодні. Може, і на вас чекають відкриття в цій великій науці?

ДО ВЧИТЕЛЯ

Протягом останніх років українська фахова мова активно розвивалася, унаслідок чого науково-технічна термінологія дещо змінилася.

У підручнику дотримано правил українського наукового стилю згідно з національними стандартами України (ДСТУ 3966-2000 та ДСТУ 1.5:2003) і використано сучасні фізичні та математичні терміни, що відповідають чинним національним термінологічним стандартам і рекомендаціям спільного Технічного комітету стандартизації науково-технічної термінології МОН та Держспоживстандарту України, з якими можна ознайомитися на сайті http://www.lp.edu.ua/tc.terminology.

Для обґрунтованого впровадження сучасної науково-технічної термінології в навчальний процес терміни, які можуть здатися незвичними, у підручнику пояснено у виносках, а для деяких з них наведено також відповідні терміни, що їх вживали раніше.

Автор щиро дякує М. Д. Гінзбургу, Л. А. Кирику та В. О. Орлову за цінні поради під час роботи над підручником.

розділ 1

ПОЧИНАЄМО ВИВЧАТИ ФІЗИКУ

- Фізика — наука про природу
- Спостереження та дослід
- Фізичні величини
- Макросвіт, мегасвіт і мікросвіт. Взаємодії та сили
- Енергія
- Як фізика змінює світ
- Видатні вчені — наші співвітчизники

§ 1 ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ

1. Фізичні тіла
2. Механічні явища
3. Теплові явища
4. Електричні та магнітні явища
5. Оптичні явища

1. ФІЗИЧНІ ТІЛА

Фізика вивчає фізичні тіла та фізичні явища.

Почнемо з розповіді про фізичні тіла.

«Тіло» — одне з багатьох слів, що часто вживають як у повсякденному житті, так і в науці. Але ***значення*** цього слова різні. У повсякденному житті «тілом» називають зазвичай тіло живої істоти. У науці ж ***фізичним тілом***, або просто ***тілом***, називають ***будь-який*** предмет, навіть якщо він не має певної форми — наприклад, туман.

Розмаїтість фізичних тіл величезна. Фізичним тілом є і тіло людини (рис. 1.1), і автомобіль або мотоцикл (рис. 1.2), і піщинка, і планета, зокрема наша Земля (рис. 1.3). Тілами є чайник, вода в ньому, а також туман, що утворюється з пари, яка виривається з чайника, що кипить (рис. 1.4).

В останні десятиліття з'явився та бурхливо розвивається розділ фізики, що вивчає живі тіла, — цей розділ називають біофізикою[1]. Є також розділ фізики, що переважно вивчає тільки одне з найважливіших для нас фізичних тіл — нашу Землю. Цей розділ фізики називають геофізикою[2].

Тіла поділяють на тверді тіла, рідини та гази. Так, за кімнатної температури камінь є твердим тілом, во-

[1] Від грецького слова «біос» — життя.
[2] Від грецького слова «гео» — земля.

да — рідиною, а повітря — газом. Властивості твердих тіл, рідин та газів ми розглянемо далі.

Фізичні тіла надзвичайно різноманітні за своїми ***властивостями***.

Наприклад, одні тіла прозорі, тобто крізь них проходить світло, — таким тілом є, скажімо, склянка. Інші ж тіла непрозорі – наприклад, дерев'яна дошка.

Деякі тіла проводять електричний струм — такими є всі металеві предмети (електричний струм проводить також і ваше власне тіло, тому з електрикою треба бути обережним!). Інші ж тіла не проводять струм — наприклад, склянка.

З деякими властивостями тіл ви вже познайомилися раніше в курсі природознавства.

Фізичні тіла є «дійовими особами» ***фізичних явищ***, які також є надзвичайно різноманітними.

Фізика вивчає механічні, теплові, електричні, магнітні й оптичні явища.

Розглянемо їх докладніше.

2. МЕХАНІЧНІ ЯВИЩА

Механічними явищами є рух тіл, тобто зміна їхнього взаємного положення в просторі, а також взаємодія між тілами.

Механічні явища трапляються нам буквально на кожному кроці, бо ходьба — це рух, під час якого ми взаємодіємо із Землею. Рух і взаємодію тіл ми спостерігаємо під час спортивних змагань (рис. 1.5–1.7).

Рухаються та взаємодіють одне з одним майже всі тіла. Наприклад, Земля рухається навколо Сонця, і вони притягують одне одного. За одну секунду Земля «пролітає» в космосі близько 30 кілометрів, та при цьому вона ще й обертається навколо власної осі (рис. 1.8).

Рис. 1.5

Рис. 1.6

Рис. 1.7

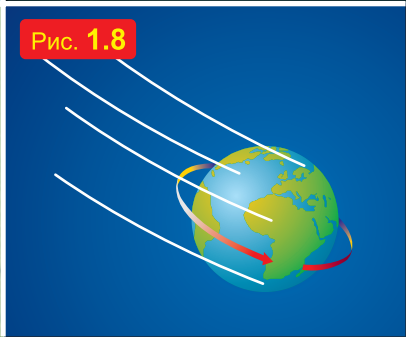


Рис. 1.8

Учені встановили, що ***характер руху тіл залежить від взаємодії між ними***. Наприклад, якщо вдарити ногою м'яч, що лежить на траві (рис. 1.7), то він почне рухатись. А якщо вдарити по м'ячу, що рухається, то його швидкість зміниться. І що сильніший удар, то більше зміниться швидкість м'яча!

Розділ фізики, що вивчає механічні явища, називають ***механікою***. Закони механіки встановили в 16-му та 17-му століттях італійський учений Ґалілео Ґалілей та англійський учений Ісак Ньютон.

3. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

Тепловими явищами є нагрівання та охолодження тіл, а також переходи речовини, з якої складаються тіла, з одного стану в інший (з газоподібного в рідинний[1] і навпаки та з рідинного у твердий і навпаки).

Теплові явища дуже поширені в природі й техніці. Саме вони, наприклад, спричинюють кругообіг води в природі (рис. 1.9). Унаслідок нагрівання сонячними променями вода океанів і морів випаровується, тобто перетворюється в пару. Піднімаючись, пара розширюється й охолоджується, перетворюючись у крапельки води або кристалики льоду. Вони утворюють хмари, з яких вода повертається на Землю дощем або снігом.

Рис. 1.9

[1] Коли йдеться про стан речовини, вживають термін «рідинний», а не «рідкий».

Теплові явища відбуваються також у теплових двигунах, установлених в автомобілях і на електростанціях.

Учені встановили, що теплові явища спричинені рухом та взаємодією найдрібніших частинок речовини, які називають ***молекулами***. Тому розділи фізики, які вивчають теплові явища, називають ***молекулярною фізикою*** та ***термодинамікою***[1]. Їхні закони відкрили в 19-му столітті вчені різних країн.

4. ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ЯВИЩА

Найяскравіший приклад природного електричного явища — блискавка, що є гігантським електричним розрядом (рис. 1.10). Крихітні «блискавки» щоразу проскакують у вимикачі, коли ви, наприклад, вимикаєте світло.

Електричні явища сьогодні так поширені, що ми цього майже не помічаємо: щодня ми користуємось електричним освітленням, транспортом (рис. 1.11), побутовими електроприладами, комп'ютерами.

Електричні явища спричинені взаємодією електрично заряджених тіл або електрично заряджених частинок речовини. Установлено, що є два типи електричних зарядів: позитивні та негативні. Заряди одного типу (їх називають однойменними) відштовхуються, а заряди різних типів (різнойменні) притягуються.

Прикладами магнітних явищ є взаємодія постійних магнітів, а також притягання магнітом залізних і сталевих предметів. Приклад магнітного явища — рух стрілки компаса: вона завжди повертається так, щоб її північний кінець указував на північ (рис. 1.12). Ця дивна «наполегливість» стрілки компаса колись дуже вразила допитливого п'ятирічного хлопчика, якого звали Альбертом. Ставши знаменитим ученим, Альберт Ейнштейн[2] писав, що саме поведінка стрілки компаса вперше викликала в ньому незабутнє відчуття, що за речами, які ми бачимо, є щось ще, глибоко приховане.

Поворот магнітної стрілки спричинений взаємодією двох магнітів: маленького − стрілки компаса та величезного − земної кулі.

---

[1] Від грецьких слів «термо» — тепло та «динамікос» — сильний.

[2] Альберт Ейнштейн жив і працював у Швейцарії, Німеччині та США.

У другій половині 19-го століття було встановлено, що електричні та магнітні явища тісно пов'язані одне з одним. Наприклад, північне сяйво (рис. 1.13) спричинене тим, що електрично заряджені частинки, які летять з космосу, взаємодіють із Землею як з магнітом.

Рис. 1.10

Рис. 1.11

Рис. 1.12

Рис. 1.13

Рис. 1.14

Рис. 1.15

Електричні та магнітні явища вкупі називають ***електромагнітними***. Завдяки їм працюють електростанції та електродвигуни, радіозв'язок, телебачення (рис. 1.14), комп'ютери (рис. 1.15).

Електромагнітні явища спричинені електромагнітним полем, що пронизує простір навколо нас. Завдяки електромагнітному полю ми бачимо, бо світло є різновидом електромагнітних хвиль. Завдяки електромагнітним хвилям працює радіозв'язок і телебачення.

Розділи фізики, які вивчають електричні та магнітні явища, називають ***електрикою*** та ***магнетизмом***. Їхні закони відкрили вчені кількох країн.

5. ОПТИЧНІ ЯВИЩА

Оптичними, або світловими, явищами називають явища, пов'язані зі світлом.

Про їхню поширеність зайве й казати: куди б ми не ***подивилися*** — усюди ***побачимо*** оптичні явища.

Так, ми бачимо предмети навколо себе або тому, що вони випромінюють світло, або тому, що вони відбивають світло. Наприклад, Сонце (рис. 1.16) та лампи випромінюють світло, а Місяць (рис. 1.17) не «світить» сам: дивлячись на нього, ми бачимо відбите ним сонячне світло. Та й більшість навколишніх предметів ми бачимо завдяки відбиттю світла.

Найкраще відбиває світло дзеркальна поверхня (рис. 1.18): це всім добре відомо (особливо дівчатам).

Предмети не тільки відбивають світло, але й поглинають його, нагріваючись при цьому. Ви, мабуть, помічали, що темну поверхню Сонце нагріває сильніше, ніж світлу. Спричинено це тим, що темна поверхня сильніше поглинає світло.

Забарвлення предметів, тобто все розмаїття кольорів предметів навколо нас, спричинене тим, що різні предмети по-різному відбивають і поглинають світло.

На межі двох прозорих середовищ — наприклад, повітря та води — світло змінює напрямок поширення, тобто заломлюється.

Напевно, найкрасивішим проявом заломлення та відбиття світла в природі є веселка (рис. 1.19). Її можна спостерігати, коли після дощу сяє сонце, бо веселку спричиняє заломлення і відбиття сонячного світла в крихітних краплинках води, завислих у повітрі після дощу.

Рис. 1.16

Рис. 1.17

Рис. 1.18

Рис. 1.19

Розділ фізики, який вивчає оптичні явища, називають ***оптикою***. Перші закони оптики відкрили ще давньогрецькі вчені. Докладніше про світлові явища ви довідаєтеся вже цього навчального року.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що вивчає фізика?
2. Що називають фізичним тілом? Наведіть приклади фізичних тіл, зокрема такі, що їх не згадано в тексті.
3. Які ви знаєте властивості фізичних тіл?
4. Які ви знаєте фізичні явища?
5. Наведіть приклади механічних явищ, які траплялися вам у повсякденному житті.
6. Наведіть приклади теплових явищ, які траплялися вам у повсякденному житті.
7. Які електричні явища траплялися вам удома? На вулиці? У школі?
8. Які ви знаєте магнітні явища?
9. Чи знаєте ви оптичні явища, про які не згадано в тексті? Опишіть ці явища.

§2 СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ДОСЛІД

1. Спостереження — пошук закономірностей
2. Від спостережень — до дослідів
3. Що таке науковий метод?
Хочеш дізнатися більше?
Фізичні моделі

1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ — ПОШУК ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ

Уважно спостерігаючи природні явища, люди помічали в них певні ***закономірності***. Так, день завжди заступає ніч, а ніч — день. Після зими завжди настає весна, слідом за нею — літо, а потім — осінь. Грози бувають звичайно під час дощу, причому грім завжди чути після блискавки.

Закономірно рухається Сонце, даруючи життя всьому живому: воно завжди сходить на сході, а заходить на заході! А вночі так само закономірно рухаються по небу Місяць, зорі та планети.

Рис. 2.1

Намагаючись пояснити ці закономірності, люди створювали красиві міфи про богів. Наприклад, стародавні греки вважали, що бог Сонця Геліос у променистому вінці щодня їде небом і ллє життєдайні промені на Землю, даруючи людям світло й тепло (рис. 2.1). А громи та

блискавки посилає на Землю верховний бог Зевс-громовержець, коли він гнівається.

Перший крок до наукового пізнання природи зробив у 4-му столітті до нашої ери давньогрецький учений Арістотель. На основі спостережень він дійшов висновку, що закономірності в природних явищах є проявами ***законів природи***. Свої погляди Арістотель виклав у великій книзі «Фізика», що означає «Природа». І ця книга стала «підручником фізики» для всього світу на цілих два тисячоліття!

2. ВІД СПОСТЕРЕЖЕНЬ — ДО ДОСЛІДІВ

Виходячи зі своїх спостережень, Арістотель стверджував: щоб тіло рухалося, його треба постійно «рухати», тобто штовхати або тягнути. Так, візок рухається тільки доти, доки його тягне кінь (рис. 2.2). Листя на деревах тріпотить завдяки вітру: як тільки вітер стихає, листя відразу ж завмирає.

Арістотель

Рис. **2.2**

Учення Арістотеля приймали на віру протягом двох тисячоліть, аж поки в 17-му столітті воно викликало сумніви в італійського вченого ***Ґалілео Ґалілея***. Він помітив: якщо штовхнути, наприклад, кулю, що лежить на горизонтальній поверхні, то куля зупиниться ***не відразу***, а тільки після того, як вона пройде деякий шлях. Причому цей шлях ***залежить від властивостей поверхні***: наприклад, по піску куля прокотиться зовсім мало, а по твердій і гладкій поверхні вона котитиметься довго!

Тоді Ґалілей припустив, що швидкість кулі зменшується через ***тертя***: що менше тертя між кулею й поверхнею, то далі котитиметься куля. Щоб підтвердити своє припущення, Ґалілей перейшов від спостережень до ***дослідів***.

Дослід[1] відрізняється від спостереження тим, що, ***проводячи дослід, учений створює спеціальні умови перебігу природних явищ***. Наприклад, Ґалілей у своїх дослідах намагався максимально зменшити тертя між кулею та поверхнею.

Досліди насправді довели: що менше тертя між кулею й поверхнею, то ***далі*** котиться куля (рис. 2.3). Ґалілей зробив з цього дуже важливий висновок: він припустив, що якби на тіло не діяли інші тіла, воно рухалося б з незмінною швидкістю ***вічно***! Так було відкрито перший закон механіки — ***закон інерції***. Сьогодні люди вміють значно зменшувати тертя, тому здатність тіл «зберігати рух» уже не викликає сумніву (рис. 2.4).

Ґалілео Ґалілей

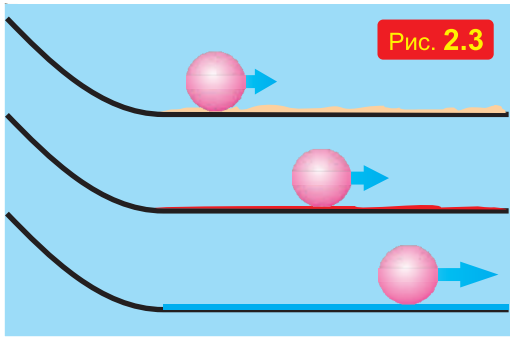


Рис. 2.3

Рис. 2.4

[1] Дослід називають також ***експериментом***, що в перекладі з латинської означає «дослід».

Рис. 2.5

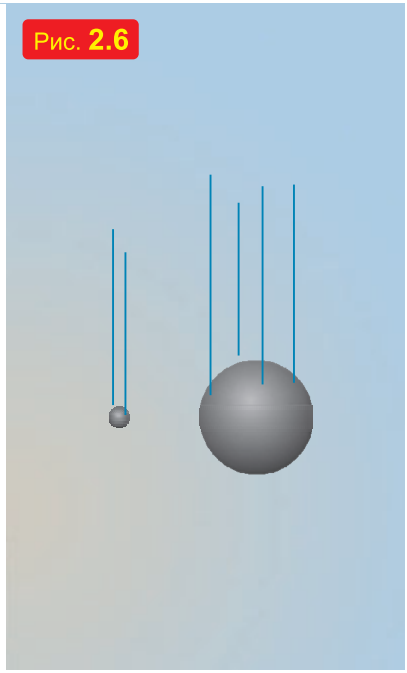


Рис. 2.6

Розповімо ще про один дослід Ґалілея, яким він також спростував одне з тверджень Арістотеля.

Виходячи зі спостережень, Арістотель стверджував, що важкі тіла падають завжди швидше, ніж легкі. Але Ґалілей піддав це сумніву, припустивши, що відмінність у падінні тіл спричинено тільки опором повітря.

Своє припущення Ґалілей вирішив перевірити ***дослідом***, кинувши з великої висоти мушкетну кулю і гарматне ядро, бо для них обох опір повітря порівняно малий. Для проведення такого досліду ідеально підходила похила вежа в італійському місті Піза: з такої вежі зручно кидати предмети вниз (рис. 2.5).

Дослід підтвердив припущення Ґалілея: кинуті одночасно куля та ядро впали теж практично ***одночасно*** (рис. 2.6), хоча ядро в сотні разів важче від кулі! Цей дослід став знаменитим, оскільки його вважають «днем народження» фізики як ***дослідної*** науки. А похила Пізанська вежа, що стоїть і досі, стала символом досліду як головного мірила істини: припущення стає істиною тільки тоді, коли його підтверджує ***дослід***.

3. ЩО ТАКЕ НАУКОВИЙ МЕТОД?

Ґалілей зробив за своє довге життя багато відкриттів, і його визнають одним з найвидатніших учених за всю історію людства. Головне ж його відкриття — ***науковий метод***, яким і сьогодні керуються вчені всього світу, вивчаючи явища природи. Науковий метод ґрунтується на таких засадах:

1. На підставі спостережень за природними явищами вчений робить припущення про закономірності перебігу цих явищ. Такі припущення називають науковими ***гіпотезами***.

2. Гіпотези перевіряють ***дослідами*** (експериментами). Проводячи дослід, учений створює ***спеціальні умови*** з метою з'ясувати, від чого й як залежить перебіг явищ.

Так, ви вже знаєте, що у своїх дослідах Ґалілей намагався максимально зменшити тертя, щоб виявити його вплив на рух тіла.

Науковий експеримент образно називають «запитанням до природи»: проводячи дослід, учений «запитує природу», аналізуючи ж результати досліду, він «читає її відповідь».

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Перевіримо на досліді — чи можуть тіла ***однакової*** маси падати ***не однаково***? Відпустимо з деякої висоти аркуш паперу й зім'ятий у грудку аркуш. Грудка впаде набагато раніше за аркуш, хоча їхні ***маси однакові***. Отже, дослід свідчить, що тіла однакової маси можуть падати ***по-різному***!

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ

Явища природи досить складні та до того ж пов'язані одне з одним. І під час дослідів не завжди вдається «виділити» якесь одне явище «у чистому вигляді».

Отже, щоб краще вивчити природні явища й зрозуміти, що їх спричинює, учені часто розглядають спрощене уявлення про певне явище — таке, у якому виділено тільки найважливіші його риси. Таке уявлення називають ***фізичною моделлю явища***.

Багато законів природи вчені відкрили завдяки використанню фізичних моделей. Надалі ми розглянемо приклади таких моделей, а зараз стисло опишемо деякі з них.

Моделлю фізичного тіла, яку дуже часто використовують, є ***матеріальна точка***. Так називають тіло, розмірами якого в розглядуваній задачі можна знехтувати.

Наприклад, вивчаючи рух Землі навколо Сонця, нашу планету можна вважати матеріальною точкою, незважаючи на її величезний розмір. А ось розглядаючи добове обертання Землі, її не можна вважати матеріальною точкою: адже точка не може обертатися навколо себе!

Іншим важливим прикладом фізичної моделі є ***промінь світла*** — так називають вузький пучок світла, настільки вузький, що його шириною в розглядуваній задачі можна знехтувати. У розділі «Світлові явища» ми вивчатимемо поширення, відбиття та заломлення променів світла.

Там же ми познайомимося ще з одною фізичною моделлю — ***точковим джерелом світла***. Так називають джерело світла, розміри якого набагато менші за відстань до нього. Точковими джерелами світла для нас можна вважати, наприклад, дуже далекі зорі.

А от найближчу до нас зорю, Сонце, ми не можемо вважати точковим джерелом світла, хоча відстань від Сонця до Землі більше ніж у 100 разів перевищує діаметр Сонця. До цього ми ще повернемось.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чи можете ви навести приклади закономірностей у природних явищах, які не згадано в тексті?
2. Опишіть дослід Ґалілея, за допомогою якого вчений відкрив закон інерції.
3. Чим відрізняється науковий дослід (експеримент) від спостереження? Наведіть приклади спостереження та досліду.
4. Що перевіряв дослідом Ґалілей, кидаючи кулю і ядро з Пізанської вежі? Яке припущення вченого підтвердив цей дослід?
5. Відпустіть аркуш паперу та спостерігайте за його падінням. Потім зімніть аркуш у грудку і знову відпустіть. Поясніть відмінність у падінні аркуша паперу та паперової грудки.
6. Які основні засади наукового методу?
7. Які ви знаєте приклади фізичних моделей?

§3 ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

1. Найважливіші фізичні величини
2. Вимірювальні прилади
Хочеш дізнатися більше?
Як визначають одиниці довжини та часу?
Чи можна відстань вимірювати роками?

1. НАЙВАЖЛИВІШІ ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Фізичні тіла і явища характеризують ***фізичними величинами***. Деякі з них вам уже відомі з курсу природознавства: це довжина, площа, об'єм, маса, сила. Розглянемо їх докладніше.

У науці використовують одиниці фізичних величин, визначені ***Міжнародною системою одиниць***, яку скорочено називають SI – від англійських слів System International, що означає «Міжнародна Система».

ДОВЖИНА, ПЛОЩА, ОБ'ЄМ

Довжиною характеризують фізичні тіла та, наприклад, шлях, пройдений тілом під час його руху. За одиницю довжини в SI прийнято[1] 1 метр (м).

На лінійках та мірних стрічках (рулетках) нанесено поділки, що позначають соті й тисячні частки метра — сантиметри й міліметри (рис. 3.1).

Одиниці площі та об'єму визначають за допомогою одиниці довжини: одиницею площі є 1 $м^2$ (площа квадрата зі стороною 1 м), а одиницею об'єму — 1 $м^3$ (об'єм куба з ребром 1 м). Об'єм рідини вимірюють за допомогою мензурок (рис. 3.2).

Довжину, площу та об'єм задають їхніми числовими значеннями.

Фізичні величини, які задають тільки числовими значеннями, називають ***скалярними***.

[1] Зверніть увагу: після позначень одиниць фізичних величин крапку не ставлять!

Рис. 3.1

Рис. 3.2

Рис. 3.3

ЧАС

Будь-яке фізичне явище триває певний проміжок часу. За одиницю часу в SI прийнято 1 секунду (с), 60 секунд складають 1 хвилину (хв), а 60 хвилин — 1 годину (год).

Час вимірюють годинниками (рис. 3.3). Вони є зазвичай пристроями, у яких повторюється певний процес. Наприклад, у маятниковому годинникові повторюються коливання маятника. Сьогодні частіше використовують кварцові годинники, у яких коливаються крихітні кристали кварцу.

ПЕРЕМІЩЕННЯ ТА ШВИДКІСТЬ

Під час руху тіло змінює своє положення в просторі.

Переміщенням тіла називають напрямлений відрізок, проведений з початкового положення тіла в його кінцеве положення.

Переміщення задають ***числовим значенням*** (довжиною вказаного відрізка) та ***напрямком***. Фізичні величини, які характеризують числовим значенням і напрямком, називають ***векторними***.

Значення векторної величини називають її ***модулем***.

Векторну величину позначають літерою зі стрілкою, а модуль — тою самою літерою без стрілки. Так, переміщення зазвичай позначають $\vec{s}$, а його модуль — s.

Швидкістю тіла називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню переміщення тіла до проміжку часу, протягом якого відбулося переміщення.

Швидкість, як і переміщення, є векторною величиною, тобто її характеризують модулем та напрямком. Наприклад, швидкості двох зустрічних автомобілів можуть бути однаковими за модулем, але за напрямком вони протилежні. Швидкість позначають зазвичай $\vec{v}$.

Одиницею швидкості в SI є 1 метр за секунду (м/с). Тіло, що рухається з такою швидкістю, за 1 с переміщується на 1 м, — це швидкість прогулянки. Рекорд швидкості з бігу — трохи більше 10 м/с.

Швидкість сучасних реактивних літаків сягає майже кілометра за секунду (км/с), а космічних кораблів — навіть понад 10 км/с. Але жодне тіло не може рухатися зі швидкістю, більшою від швидкості світла у вакуумі, яка становить приблизно 300 000 км/с.

Для вимірювання швидкості автомобілів та мотоциклів використовують спідометри[1] (рис. 3.4–3.6). Вони показують зазвичай швидкість у кілометрах за годину (км/год). Ви, мабуть, помічали, що під час руху автомобіля стрілка спідометра зазвичай «гойдається». Річ у тім, що швидкість автомобіля під час руху зазвичай змінюється.

[1] Від англійського «speed» — швидкість.

Рис. 3.4

Рис. 3.5

Рис. 3.6

МАСА

Кожне фізичне тіло має певну ***масу***. Маси двох тіл можна порівняти, виміривши, як змінюються їхні швидкості внаслідок взаємодії: швидкість тіла більшої маси змінюється менше, ніж швидкість тіла меншої маси.

Так, на рис. 3.7 схематично показано зіткнення футбольного й тенісного м'ячів (цифри позначають положення м'ячів у три послідовні моменти часу). Ми бачимо, що внаслідок зіткнення швидкість футбольного м'яча змінилася набагато менше, ніж швидкість тенісного. Отже, маса футбольного м'яча набагато більша за масу тенісного м'яча.

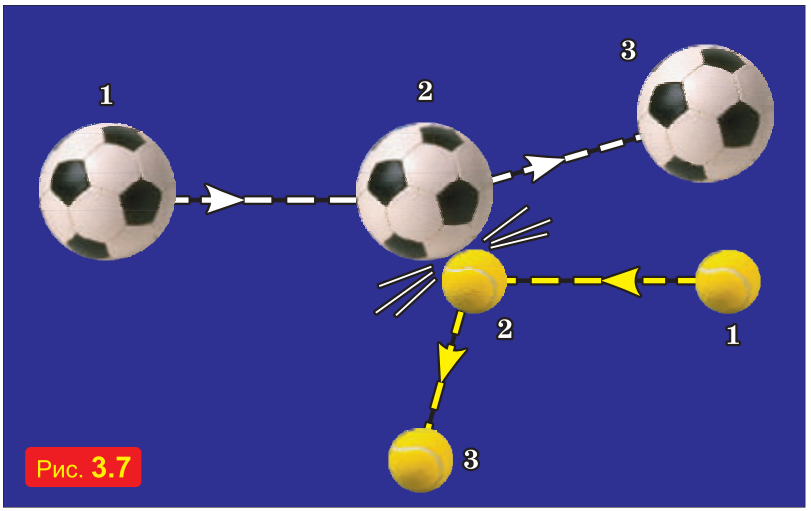


Рис. 3.7

Далі ми розповімо про набагато простіший спосіб вимірювання маси тіл, який зазвичай і використовують на практиці.

Одиницею маси в SI є 1 кілограм (кг). Це приблизно маса одного літра води. Міжнародний еталон кілограма являє собою металевий циліндр із спеціального сплаву.

СИЛА

Мірою взаємодії тіл є ***сила***: що більша сила діє на тіло, то більше змінюється його швидкість за 1 с.

Сила є ***векторною*** величиною: її задають числовим значенням і напрямком. На рисунках силу позначають стрілкою, початок якої розташовано в точці прикладання сили.

Одиницю сили на честь Ньютона назвали ***ньютоном*** (Н)[1]. Сила в 1 Н, прикладена до тіла масою 1 кг у напрямку його руху, щосекунди збільшує швидкість тіла на 1 м/с.

Щоб ви уявили собі, що таке сила в 1 Н, наведемо приклад: коли ви тримаєте повне відро води, то прикладаєте до нього силу, яка дорівнює приблизно 100 Н. При цьому прикладена вами сила зрівноважує силу, з якою Земля притягує те саме відро з водою.

Силу, з якою Земля притягує предмети, називають ***силою земного тяжіння*** або, стисло, ***силою тяжіння***. На численних дослідах встановлено, що сила тяжіння, яка діє на тіло, пропорційна його масі.

Силу вимірюють ***динамометром***[2]. На рис. 3.8 показано пружинний динамометр, дія якого ґрунтується на тому, що видовження пружини пропорційне значенню сили, яка її розтягує.

На рис. 3.9 схематично зображено сили, що діють на підвішене до динамометра тіло: це сила тяжіння з боку Землі й ***сила пружності*** з боку пружини. Якщо тіло перебуває в спокої, сила пружності зрівноважує силу тяжіння, тобто спрямована протилежно до неї і ***дорівнює*** їй за числовим значенням.

---

[1] Позначення одиниць фізичних величин, названих на честь учених, пишуть з великої літери.

[2] Від грецького слова «динаміс» — сила.

Рис. **3.8**

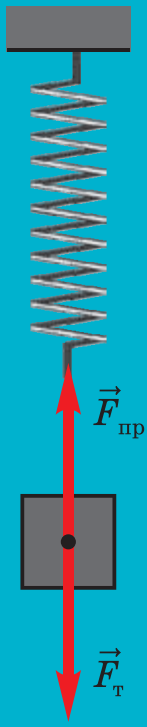


Рис. **3.9**

Рис. **3.10**

Отож за видовженням пружини в цьому випадку можна знайти значення сили тяжіння. А це, у свою чергу, дозволяє розрахувати масу тіла, оскільки сила тяжіння пропорційна масі тіла.

Отже, ***масу тіла можна знайти за допомогою зважування***.

Пружинні ваги (рис. 3.10) — це динамометр, шкалу якого розмічено (проградуйовано) так, що вона показує масу підвішеного вантажу.

2. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Пристрої, за допомогою яких вимірюють фізичні величини, називають ***вимірювальними приладами***.

Найпростішим і добре відомим вам вимірювальним приладом є лінійка з поділками. На її прикладі ви бачите, що у вимірювального приладу є ***шкала***, на яку нанесено ***поділки***, причому біля деяких поділок написано значення фізичної величини. Так, значення довжини в сантиметрах нанесено на лінійці біля кожної десятої поділки (рис. 3.11). Значення ж, що відповідають «проміжним» поділкам шкали, можна знайти за допомогою простого підрахунку.

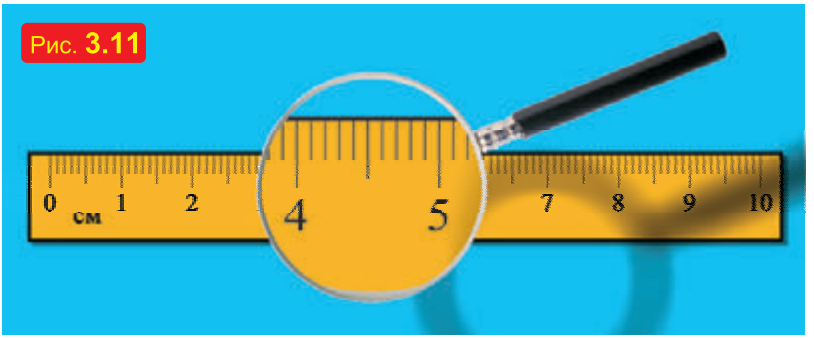


Рис. 3.11

Різницю значень фізичної величини, які відповідають найближчим поділкам шкали, називають ***ціною поділки приладу***. Її знаходять так: беруть найближчі поділки, біля яких написано значення величини, та ділять різницю цих значень на кількість проміжків між поділками, розташованими між ними.

Наприклад, найближчі сантиметрові поділки на лінійці розділяють десять проміжків. Виходить, ціна поділки лінійки дорівнює 0,1 см = 1 мм.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК ВИЗНАЧАЮТЬ ОДИНИЦІ ДОВЖИНИ ТА ЧАСУ?

У давнину мірами довжини служили здебільшого розміри людського тіла та його частин. Річ у тім, що власне тіло є дуже зручним як «вимірювальний прилад», бо воно завжди «поруч».

До того ж «людина є мірою всіх речей»: ми вважаємо предмет великим чи малим, порівнюючи його із собою.

Так, довжину відрізу тканини вимірювали «ліктями», а дрібні предмети — «дюймами» (це слово походить від голландського слова, що означає «великий палець»).

Однак людське тіло як «вимірювальний прилад» має істотний недолік: розміри тіла та його частин у різних людей помітно розрізняються. Тому вчені вирішили визначити одиницю довжини ***однозначно*** та ***точно***. Міжнародною угодою було прийнято, що один метр дорівнює шляху, який проходить світло у вакуумі за 1/299 792 458 частку секунди. А секунду визначають за допомогою атомного годинника, який на сьогодні є найточнішим.

ЧИ МОЖНА ВІДСТАНЬ ВИМІРЮВАТИ РОКАМИ?

Саме так і вимірюють надзвичайно великі відстані — наприклад, відстані між зорями! Але при цьому йдеться не про роки як проміжки часу, а про «світлові роки». А один світловий рік — це відстань, яку долає світло за один земний рік. За нашими земними мірками це дуже велика відстань — щоб переконатися в цьому, спробуйте виразити її в кілометрах!

А тепер уявіть собі, що відстань від Сонця до найближчої зорі становить понад чотири світлові роки! І за астрономічними масштабами це зовсім невелика відстань: адже за допомогою сучасних телескопів астрономи ретельно вивчають зорі, відстань до яких становить багато тисяч світлових років!

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Наведіть приклади фізичних величин та їхніх одиниць.
2. Які фізичні величини називають скалярними, а які — векторними?
3. Як вимірюють об’єм? Як можна виміряти об’єм куба? Як за допомогою мензурки можна знайти об’єм тіла неправильної форми?
4. Якими одиницями вимірюють час?
5. Що таке швидкість? Якими одиницями її вимірюють? Яка швидкість більша: 1 м/с чи 3,6 км/год?
6. Як можна порівняти маси двох тіл? Як вимірюють маси тіл на практиці?
7. Що таке сила? Яким приладом її вимірюють? Як визначають одиницю сили? Чи можете ви прикласти силу 50 Н?
8. Що таке ціна поділки приладу? Як її визначають?

§4 МАКРОСВІТ, МЕГАСВІТ І МІКРОСВІТ. ВЗАЄМОДІЇ ТА СИЛИ

1. Макросвіт, мегасвіт і мікросвіт
2. Взаємодії в макросвіті
3. Взаємодії в мегасвіті
4. Взаємодії в мікросвіті

1. МАКРОСВІТ, МЕГАСВІТ І МІКРОСВІТ

МАКРОСВІТ

Сукупність навколишніх тіл, які можна спостерігати неозброєним оком, називають **макросвітом**.

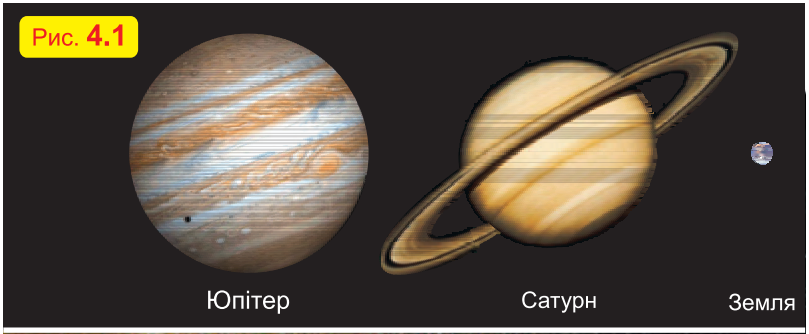
Це слово походить від грецького слова «макрос» — великий. Макросвіт насправді є великим: від піщинки до Землі! Саме вивчаючи макросвіт, учені почали відкривати закони природи: так, Галілео Галілей відкрив закон інерції та встановив, що причиною відмінності в падінні тіл є лише опір повітря.

МЕГАСВІТ

Світ космічних тіл називають **мегасвітом**.

Це слово походить від грецького слова «мега» — величезний. Перший крок у вивченні мегасвіту зробив також Галілей. За допомогою створеного ним телескопа він відкрив, що в Юпітера, найбільшої планети Сонячної системи, є супутники. А в середині 17-го століття голландський учений Христіан Гюйгенс, також за допомогою телескопа, відкрив, що друга за величиною планета, Сатурн, має дивну «прикрасу» — гігантське кільце. На рис. 4.1 наведено зроблені за допомогою телескопа фотографії Юпітера та Сатурна (поруч з ними в тому самому масштабі зображено Землю).

Галілей відкрив також, що Чумацький Шлях є колосальним скупченням зір.



На рис. 4.2 показано Чумацький Шлях, як його видно неозброєним оком, а на рис. 4.3 — малу частину Чумацького Шляху, як її видно в телескоп.

З часів Ґалілея телескопи значно вдосконалили, завдяки чому астрономи відкрили безліч величезних зоряних систем, кожна з яких складається із сотень мільярдів зір! Такі зоряні системи назвали галактиками. Одну з них показано на рис. 4.4.

Чумацький Шлях теж є галактикою.

Світ частинок, з яких складається речовина, називають **мікросвітом**.

Це слово походить від грецького «мікрос» — малий. У 17-му столітті винайшли ***мікроскоп*** — прилад для розглядання дуже дрібних предметів. І одразу виявилося, що в «малому» на вчених чекають не менш дивовижні відкриття, ніж у «великому».

На початку 19-го століття англійський ботанік Роберт Броун побачив у мікроскоп, що змулені у воді дрібні частинки пилку рослин перебувають у «вічному танці». Як установили згодом учені, цей безперервний рух частинок пилку спричинюють безупинні удари ***молекул*** води. Відкриття Броуна дозволило вперше зазирнути в світ частинок, розміри яких становлять мільйонні частки міліметра!

Як виявилося згодом, молекули складаються з іще дрібніших частинок — ***атомів***, атоми ж, у свою чергу, складаються з іще дрібніших частинок! І цю найцікавішу подорож у глибину речовини ще не закінчено...

На рис. 4.5 зображено модель молекули води, яка складається з трьох атомів. А на рис. 4.6 ви бачите модель будови атома: навколо позитивно зарядженого атомного ядра рухаються негативно заряджені найлегші частинки — електрони. Атомне ядро теж є складеним: воно складається з частинок, між якими діють величезні сили притягання. Про молекули й атоми ми розповімо в Розділі 2 «Будова речовини».

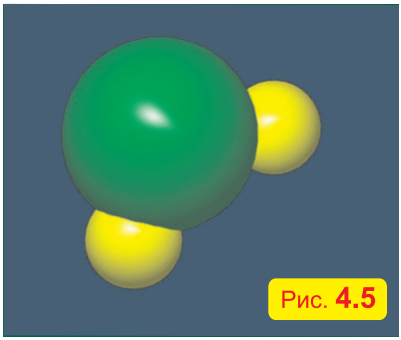


Рис. **4.5**

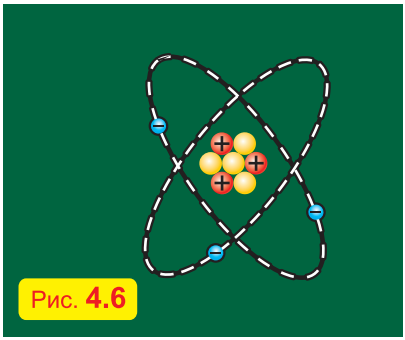


Рис. **4.6**

2. ВЗАЄМОДІЇ В МАКРОСВІТІ

СИЛИ ПРУЖНОСТІ

Спостереження свідчать, що в разі безпосереднього контакту тіла ніби «упираються» одне в одне: завдяки цьому, наприклад, ми не провалюємося «крізь землю».

Коли тіла тиснуть одне на одне, між ними діють ***сили пружності***. Ці сили зумовлено ***деформацією*** тіл, тобто зміною їхньої форми. І хоча часто ми на око не помічаємо деформації тіла, її можна виміряти за допомогою приладів. А іноді тілу навмисно надають такої форми, щоб його деформація була добре помітною, — саме таку форму, наприклад, мають пружини.

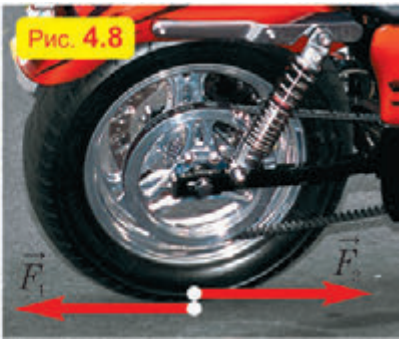
Сила пружності є проявом сил електричної взаємодії між частинками речовини. Про ці сили ви дізнаєтеся далі.

СИЛИ ТЕРТЯ

Роблячи крок, ви відштовхуєтеся від Землі з деякою силою $\vec{F}_1$ (рис. 4.7). Земля ж при цьому штовхає вас уперед із силою $\vec{F}_2$. Обидві ці сили є ***силами тертя***.

Сила тертя розганяє також автомобілі та мотоцикли завдяки тому, що їхні колеса відштовхуються від дороги (рис. 4.8). Гальмують автомобілі теж завдяки силам тертя: гальмові колодки притискаються до ободів коліс і зупиняють їхнє обертання.

Сили тертя діють між двома тілами, що дотикаються та рухаються одне відносно другого, а також коли одне тіло намагаються зрушити відносно другого. Ці сили завжди перешкоджають рухові одного тіла відносно другого.



Сили тертя відіграють величезну роль у макросвіті, хоча ми їх часто не помічаємо: так, завдяки їм тканини не розпадаються на нитки, а нитки — на волокна.

Сили тертя, як і сили пружності, є проявом сил електричної взаємодії між частинками речовини.

СИЛА ТЯЖІННЯ

Третя сила, що помітно виявляє себе в макросвіті, — це сила тяжіння, про яку ми вже розповідали.

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ СИЛИ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІДИ

З'ясуємо на досліді, чи можуть тіла взаємодіяти, не торкаючись одне одного, тобто ***на відстані***.

Розчешіть сухе волосся пластмасовим гребінцем, і він притягатиме шматочки паперу (рис. 4.9).

Піднесіть магніт до скріпок або шурупів. Ви побачите, що магніт притягує ці предмети (рис. 4.10).

Рис. 4.9

Рис. 4.10

У першому досліді діяли ***електричні*** сили, а в другому — ***магнітні***.

Електричні сили діють між електрично зарядженими тілами та частинками. Набувати електричного заряду тіла можуть, наприклад, завдяки тертю, коли деяка кількість електронів переходить з одного тіла на друге. Тоді тіло, що втратило електрони, набуває позитивного заряду, а тіло, на яке перейшли електрони, — негативного. Заряджене тіло, як ми бачили, притягує і незаряджені тіла, оскільки в цих тілах відбувається перерозподіл електричних зарядів.

Магнітні сили діють, наприклад, між постійними магнітами. Будь-який магніт має північний і південний полюси, названі так тому, що північний полюс вільно підвішеного магніту вказує на північ, а південний — на південь. Однойменні (північний-північний або південний-південний) полюси магніту відштовхуються, а різнойменні (північний і південний) — притягуються. Як ми бачили, магнітні сили виявляють себе і в притяганні постійними магнітами залізних і сталевих предметів.

Закони електричних сил установив на досліді французький учений Шарль Огюстен Кулон у 18-му столітті. А в 19-му столітті данський учений Ганс Крістіан Ерстед і французький учений Андре Марі Ампер виявили, що поблизу провідника зі струмом магнітна стрілка повертається, а котушка зі струмом притягує залізні й сталеві предмети як постійний магніт. Спираючись на ці та свої власні досліди, англійський учений Майкл Фарадей припустив, що електричні й магнітні взаємодії є проявами єдиної ***електромагнітної*** взаємодії, а його співвітчизник Клерк Джеймс Максвелл створив теорію електромагнітних взаємодій.

3. ВЗАЄМОДІЇ В МЕГАСВІТІ

Одного дня — це було 1666 року — падіння звичайного яблука навело на роздуми юного Ісака Ньютона:

— Може, сила тяжіння, що діє з боку Землі на яблуко, має ***ту саму фізичну природу***, що й сила, яка «примушує» Місяць рухатися навколо Землі? А може, ту саму природу мають і сили, що «утримують» планети на своїх орбітах навколо Сонця?

Це припущення, якби воно було правильним, давало чудову можливість зрозуміти будову Всесвіту! Щоб перевірити його, Ньютон створив навіть нові розділи математики — диференціальне та інтегральне числення.

Розрахунки підтвердили припущення вченого. Так було відкрито ***закон всесвітнього тяжіння***. А «яблуко Ньютона» назавжди стало символом геніальної здогадки.

Сили всесвітнього тяжіння є найважливішими силами в мегасвіті. Вони «керують» рухом планет, зір і навіть галактик, а також «запалюють» зорі, стискаючи величезні маси речовини. При цьому температура всередині підвищується до десятків мільйонів градусів, коли «вступають у гру» ядерні сили, про які ми згодом розповімо.

На початку 20-го століття Альберт Ейнштейн припустив, що сили тяжіння є проявом викривлення простору поблизу масивних тіл. Теорія Ейнштейна дістала назву «загальної теорії відносності». Її висновки було підтверджено астрономічними спостереженнями. Виходячи з цієї теорії, фізик Джордж Ґамов, який народився в Україні, зміг розгадати загадку походження Всесвіту (див. *§ 7. Видатні вчені — наші співвітчизники*).

4. ВЗАЄМОДІЇ В МІКРОСВІТІ

Речовина не розпадається на окремі частинки завдяки ***електричній*** взаємодії: притягання різнойменних зарядів утримує електрони поблизу атомних ядер, з'єднує атоми в молекули, а молекули — у речовину.

Щоб ви змогли уявити «могутність» цих сил, наведемо такий приклад. Якби з однієї столової ложки води можна було «перенести» в другу столову ложку води лише одну мільйонну частку електронів, то ці дві ложки води, перебуваючи на відстані одного метра, притягувалися б із силою, що приблизно дорівнює вазі навантаженого товарного потяга довжиною від Києва до Харкова! Ось які колосальні сили приховано під гладдю води в одній столовій ложці.

Але навіть ці сили дуже малі порівняно з ***ядерними*** силами, що утримують разом частинки, з яких складається атомне ядро. Ядерні сили більші від електричних приблизно в сто разів! Саме дія ядерних сил підтримує «горіння» зір, зокрема й нашого Сонця. Як свідчать спостереження й розрахунки, Сонце світить уже близько п'яти мільярдів років. І світитиме ще принаймні стільки ж!

У старших класах ви дізнаєтесь, як учені «змусили» працювати ядерні сили й на Землі.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке макросвіт? Наведіть приклади тіл і явищ, що належать макросвітові.
2. Що таке мегасвіт? Наведіть приклади тіл і явищ, що належать мегасвітові.
3. Що таке мікросвіт? Наведіть приклади тіл і явищ, що належать мікросвітові.
4. Що таке сили пружності? Як вони виявляють себе у навколишньому світі?
5. Що таке сили тертя? Наведіть приклади того, що трапилося б, якби ці сили зникли.
6. Наведіть приклади дії електричних і магнітних сил.
7. Які сили є головними в мегасвіті? Проілюструйте свою відповідь прикладами.
8. Які сили діють у мікросвіті? Що ви можете сказати про величину цих сил?

§5 ЕНЕРГІЯ

1. Механічна робота
2. Енергія
Хочеш дізнатися більше?
Потужність
Чи міг би Архімед зрушити Землю?
Чи може людина втомитися, не виконуючи механічної роботи?

1. МЕХАНІЧНА РОБОТА

«ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО МЕХАНІКИ»

Як стародавні єгиптяни, будуючи свої колосальні піраміди, піднімали на величезну висоту такі важенні кам'яні блоки, що їх тяжко було навіть зрушити?

Для їх підняття використовували, наприклад, важелі. Важелями користувалися й стародавні греки, коли вони будували свої величезні храми.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Переконаємося, що за допомогою важеля насправді можна отримати значний виграш у силі. Покладіть на коротке плече важеля важку книгу — і ви зможете підняти її, натиснувши на довге плече мізинцем (рис. 5.1)!

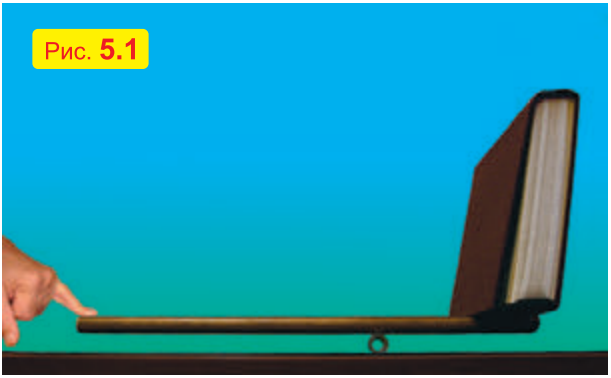


Рис. 5.1

Однак виграш у силі завжди супроводжується програшем у переміщенні.

Наприклад, якщо вантаж, прикріплений до короткого плеча важеля, піднімають, прикладаючи до довгого плеча важеля силу, що в 10 разів ***менша*** за вагу цього вантажу, то довге плече важеля треба опустити вниз на відстань, що в 10 разів ***більша*** за висоту, на яку підніметься вантаж.

Цей і подібні досліди свідчать, що, використовуючи будь-які прості механізми, ***ми виграємо в силі саме в стільки разів, у скільки разів програємо в переміщенні***.

Це відкриття, зроблене ще стародавніми греками, виявилося настільки важливим, що згодом його назвали «золотим правилом механіки».

МЕХАНІЧНА РОБОТА

Із золотого правила механіки випливає: якщо не враховувати тертя, ***добуток сили на переміщення*** однаковий для кожної із сил, що діють на плечі важеля. Завдяки цьому ввели фізичну величину, яку назвали механічною роботою. У подальшому заради простоти ми обмежимося випадком, коли напрямок сили збігається з напрямком переміщення. У такому разі

механічна робота дорівнює добутку сили на переміщення[1].

Механічну роботу позначають літерою A.

Якщо сила спрямована вздовж переміщення, робота сили $A = Fs$, де F — модуль сили, а s — модуль переміщення.

Одиницю роботи в SI назвали ***джоуль*** (Дж) на честь англійського фізика Джеймса Прескотта Джоуля. Один джоуль — це робота, яку виконує сила в 1 Н, переміщуючи тіло на 1 м у напрямку дії сили, тобто 1 Дж = 1 Н · 1 м.

[1] Як випливає з визначення, механічна робота — це робота ***сили***. Коли кажуть про роботу тіла або системи тіл, завжди мають на увазі роботу сили, що діє з боку цього тіла або системи тіл.

Наприклад, піднімаючи повне відро води, ви прикладаєте силу, що дорівнює приблизно 100 Н. Отже, піднімаючи відро на висоту 1 м, ви виконуєте роботу, що дорівнює приблизно 100 Дж.

Механічну роботу часто називають просто роботою, однак її не слід плутати з роботою в повсякденному значенні цього слова. Ми ще розповімо про це в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

2. ЕНЕРГІЯ

Механічну роботу люди давно навчилися «перекладати на плечі» машин і механізмів.

Одним із перших таких механізмів був водяний млин (рис. 5.2): роботу тут виконує сила, з якою вода, що падає, діє на лопаті колеса. Сучасна гідроелектростанція, що змушує «працювати» величезну річку (рис. 5.3), «виросла» з невеликого водяного млина на струмку.

Рис. 5.2

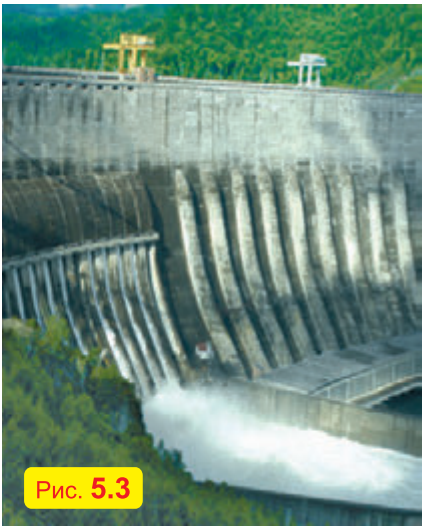


Рис. 5.3

Щоб млин працював або гідроелектростанція виробляла електроенергію, потрібно створити різницю рівнів води. Отже, вода та Земля, що її притягує, утворюють систему тіл, здатну виконувати роботу.

Здатність виконувати роботу має також тіло, що рухається. Наприклад, вода, падаючи, ударяє в рухомі лопаті колеса або турбіни, тобто діє на них з деякою силою. При цьому швидкість води зменшується.

Фізичну величину, що характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу внаслідок зміни свого стану, називають **енергією**.

Кажуть, що тіло (або система тіл) має енергію, якщо це тіло (або система тіл) може виконати роботу. Мірою ***зміни*** енергії є виконана ***робота***: коли тіло виконує роботу, його енергія зменшується на величину, що дорівнює виконаній роботі.

Отже, енергію вимірюють тими самими одиницями, що й роботу: ***одиницею енергії*** в SI є ***джоуль***. Якщо тіло (система тіл) виконує роботу в 1 Дж, енергія тіла (системи тіл) зменшується на 1 Дж.

ВИДИ ЕНЕРГІЇ

Тіло або система тіл може виконувати роботу внаслідок різних ***змін свого стану***.

Роботу може бути виконано внаслідок зміни взаємного положення тіл, що ***взаємодіють***, або внаслідок зміни ***швидкостей*** тіл. В обох цих випадках змінюється ***механічна*** енергія даного тіла або системи тіл.

Частину механічної енергії, зумовлену взаємодією тіл, називають **потенціальною енергією**, а частину механічної енергії, зумовлену рухом тіла, — **кінетичною енергією**.

Наприклад, підняте над Землею тіло та Земля притягують одне одного, тобто ***взаємодіють***. Завдяки цьому тіло під час падіння може виконати певну роботу. Отже, підняте тіло має потенціальну енергію.

Під час падіння тіла його потенціальна енергія зменшується, зате кінетична — збільшується, тому що збільшується швидкість тіла.

Розглянемо ще один випадок, коли тіло може виконати роботу. Газ, розширюючись у циліндрі, рухає поршень, виконуючи при цьому роботу (на цьому ґрунтується дія автомобільних двигунів). Але, розширюючись, газ охо-

лоджується, тобто його температура знижується. А при цьому, як ви дізнаєтеся далі, сповільнюється хаотичний[1], тобто безладний, рух молекул газу. Отже, розширяючись, газ виконує роботу завдяки зменшенню кінетичної енергії хаотичного руху молекул.

Енергію, зумовлену хаотичним рухом частинок тіла та їхньою взаємодією, називають ***внутрішньою*** енергією.

Коли газ розширюється, він виконує роботу, а його внутрішня енергія зменшується.

Учені встановили, що є й інші види енергії — наприклад, електромагнітна й атомна енергія. Про них ви дізнаєтесь докладніше з курсу фізики старших класів.

Енергія є найважливішою фізичною величиною, тому ми й розповіли про неї на початку вашого знайомства з фізикою.

Цілі епохи в історії людства називали «на честь» використовуваного виду енергії. Так, час парових двигунів (від другої половини 18-го століття до кінця 19-го століття) називали «століттям пари». А 20-те століття називали «століттям електрики», а також «століттям атома».

ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Досліди свідчать, що коли можна знехтувати силами тертя, механічна енергія тіл, що взаємодіють, тобто сума їхніх потенціальної та кінетичної енергії, не змінюється. Це є проявом закону збереження енергії, відкритого в 19-му столітті.

Закон збереження енергії: у всіх процесах, що відбуваються в природі, сумарна енергія всіх тіл, що взаємодіють, зберігається.

Закон збереження енергії означає, що ***енергія є загальною мірою руху та взаємодії тіл і частинок***: вона ніколи не зникає та не з'являється, а лише перетворюється з одного виду в інший.

Багато процесів, які відбуваються в природі, супроводжуються перетвореннями енергії. Наприклад, коли внаслідок тертя тіло, що рухається, зупиняється, його

[1] Від грецького «хаос» – безладдя.

механічна енергія переходить у внутрішню, тому що завдяки тертю тіло нагрівається.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЧИ МІГ БИ АРХІМЕД ЗРУШИТИ ЗЕМЛЮ?

Правило важеля встановив на досліді видатний давньогрецький учений і інженер Архімед, який жив у 3-му столітті до нашої ери в Сіракузах, одному із грецьких міст-держав на острові Сицилія.

Архімед досяг такої досконалості в спорудженні різних механізмів, що заявив якось цареві Сіракуз: «Своїми механізмами я один можу підняти будь-який вантаж!» Більше того, Архімед стверджував, що він міг би зрушити навіть Землю, якби тільки знайшов «точку опори» — наприклад, другу Землю, на яку можна стати! Цар дуже здивувався і запропонував Архімедові продемонструвати свою могутність.

Тоді Архімед попросив завантажити корабель, який насилу витягли на берег, і посадити на нього весь екіпаж. Прив'язавши до корабля міцний канат, Архімед почав тягнути канат за допомогою винайденого ним механізму. І корабель плавно рушив по піску до Архімеда так, начебто поплив під вітрилами по морю! Цар і всі присутні були вражені могутністю Архімеда — не могутністю його рук, а могутністю його ***розуму***.

Однак, стверджуючи, що він міг би зрушити Землю, Архімед дуже переоцінив свої можливості. Розрахунки свідчать, що навіть якби Архімеду фантастично «пощастило» і він зміг би знайти «точку опори» та величезний важіль, то не встиг би помітно зрушити Землю не тільки за все своє життя, а й за весь час існування Землі.

ЧИ МОЖЕ ЛЮДИНА ВТОМИТИСЯ, НЕ ВИКОНУЮЧИ МЕХАНІЧНОЇ РОБОТИ?

Чому дуже втомлюєшся, коли довго тримаєш, наприклад, повне відро води? Адже механічної роботи при цьому не виконуєш, бо переміщення дорівнює нулю! Щоб переконатися, що тримання вантажу не є роботою у фізичному значенні цього слова, поставте відро на підлогу: підлога «триматиме» відро як завгодно довго, аж ніяк не втомлюючись!

Людина ж, тримаючи вантаж, утомлюється через напругу м'язів. Покладіть той самий вантаж на коліна, і ви відчуєте значне полегшення.

Отже, не слід плутати механічну роботу як фізичну величину з роботою в повсякденному значенні слова, тобто з будь-якою діяльністю, що викликає втому. Адже втомитися можна, зовсім не виконуючи механічної роботи — наприклад, створюючи музику або складаючи вірші. А найбільше, як відомо, утомлюєшся саме від неробства!

Рис. **5.4**

ПОТУЖНІСТЬ

Однакову роботу можна виконати за різні проміжки часу. Наприклад, можна підняти вантаж за хвилину, а можна піднімати цей вантаж і цілу годину.

Фізичну величину, що дорівнює відношенню виконаної роботи A до проміжку часу t, за який цю роботу виконано, називають ***потужністю*** та часто позначають N. Отже, $N = A/t$.

Одиницею потужності в SI є джоуль за секунду (Дж/с), або ***ват*** (Вт), названий так на честь англійського винахідника Джеймса Уатта (Ватта). Один ват — це така потужність, за якої роботу в 1 Дж виконують за 1 с. Отже, 1 Вт = 1 Дж/с.

Людина може розвивати потужність у сотні ватів. Щоб оцінити, наскільки людський розум, що створив двигуни, «могутніший» за людські м'язи, наведемо такі порівняння (рис. 5.4):

- потужність легкового автомобіля приблизно в ***тисячу*** разів більша за середню потужність людини;
- потужність авіалайнера приблизно в ***тисячу*** разів більша за потужність автомобіля;
- потужність космічного корабля приблизно в ***тисячу*** разів більша за потужність літака.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. У чому полягає «золоте правило механіки»?
2. Що таке механічна робота? Яка одиниця роботи?
3. Що таке енергія? У якому випадку енергія тіла або системи тіл змінюється? Яка одиниця енергії?
4. Що таке механічна енергія? Що таке потенціальна та кінетична енергія? Наведіть приклади потенціальної та кінетичної енергії.
5. Які ви знаєте види енергії?
6. Сформулюйте закон збереження енергії. Наведіть приклади, що підтверджують справедливість закону збереження енергії.
7. Що таке потужність? Яка одиниця потужності? Яку потужність може розвивати людина?

§6 ЯК ФІЗИКА ЗМІНЮЄ СВІТ

1. Приклад застосування фізичних відкриттів: історія годинника
2. Нові джерела енергії
3. Нові засоби зв'язку
4. Охорона довкілля

Фізика вплинула на розвиток цивілізації та хід світової історії більше, ніж будь-яка інша наука, оскільки

фізика є основою науково-технічного прогресу.

1. ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВІДКРИТТІВ: ІСТОРІЯ ГОДИННИКА

Ми так звикли до найчисленніших застосувань фізичних відкриттів, що вже не помічаємо їх, хоча вони трапляються нам ***щогодини*** й ***щохвилини*** в буквальному значенні цих слів: адже історія годинника — це чудовий приклад історії застосування фізичних відкриттів!

Першим більш-менш точним годинником був маятниковий годинник (рис. 6.1). Його дія ґрунтується на відкритій Ґалілеєм[1] наприкінці 16-го століття властивості малих коливань вантажу, підвішеного на нитці або стрижні: їхній період (проміжок часу, поки триває одне коливання) майже не залежить від розмаху коливань. Застосувати цю властивість коливань до конструювання годинників спало на думку голландському фізику Хрістіану Гюйгенсу в 17-му столітті.

Маятникові годинники були досить точними, але дещо громіздкими. У 18-му столітті з'явилися пружинні годинники, і майстри-годинникарі змогли зробити їх

[1] Дев'ятнадцятирічний Ґалілей відкрив цю властивість коливань, спостерігаючи за коливаннями церковних світильників. Як годинник він використовував власний пульс!

такими маленькими, що їх можна було носити в кишені й навіть на руці (рис. 6.2). У пружинному годинникові коливається тіло, прикріплене до пружини. У цьому випадку період коливань також залишається майже незмінним: це спричинено властивістю сили пружності, відкритою в 17-му столітті англійським фізиком Робертом Гуком.

У 19-му столітті було відкрито закони електрики та магнетизму, завдяки чому у 20-му столітті з'явились електричні годинники, що були, по суті, мініатюрними електродвигунами. Електричний годинник не треба заводити: джерелом енергії є батарейка. Але точність електричних годинників залишалась приблизно такою самою, як і маятникових, — похибка ходу становила близько однієї хвилини за добу.

Значного підвищення точності годинників змогли досягти, коли у другій половині 20-го століття фізики відкрили, що кристали кварцу (поширеного мінералу)

коливаються під дією електричного поля. Період цих коливань, як виявилося, залишався незмінним з дуже високою точністю, завдяки чому було сконструйовано кварцовий годинник (рис. 6.3). Він набагато надійніший і точніший від механічного або електричного: похибка кварцового годинника становить лише кілька хвилин за рік! Тому сьогодні найпоширенішими стали саме кварцові годинники (наручні та настінні).

Але кілька хвилин за рік — це далеко не межа досягнутої вченими точності: найточнішими сьогодні є атомні годинники, дія яких ґрунтується на коливаннях атомів. Точність атомних годинників здається фантастичною: похибка ходу складає одну секунду за три мільйони років! Ось чому саме атомний годинник було використано для виготовлення еталону секунди як одиниці часу.

2. НОВІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Ви ввімкнули світло, і лампи в люстрі засвітилися начебто «самі собою». Але для того, щоб неначе від помаху руки чарівника кімната в одну мить залилася світлом, цілодобово працюють величезні електростанції — головні сучасні джерела енергії.

Зайшовши на кухню, ви ввімкнули електрочайник — знову електрика! Адже в сучасній квартирі є ще й електричні пральна машина, фен, мікрохвильова піч тощо (рис. 6.4). Причому в більшості сучасних побутових приладів використано фізичні відкриття, зроблені вже у 20-му столітті.

Електрика рухає потяги метро та залізниць, трамваї, тролейбуси та ескалатори. В обладнанні сучасних автомобілів також широко використовують електрику.

Електрика стала основою всієї сучасної техніки — без неї неможливо уявити сучасне виробництво.

Виробляють та передають електроенергію, використовуючи відкриті Фарадеєм, Максвеллом та іншими вченими закони електрики та магнетизму.

Джерелами електричної енергії є електростанції. Більшість електростанцій сьогодні — теплові. На таких

електростанціях теплові двигуни (переважно це парові турбіни) перетворюють внутрішню енергію палива в механічну енергію, яку потім генератори електричного струму перетворюють у електричну енергію. Крім того, у різних країнах (зокрема, і в нашій) є багато гідроелектростанцій, про які ми вже розповідали.

З кожним роком дедалі більше електроенергії виробляють атомні електростанції, дія яких ґрунтується на законах ядерної фізики, відкритих у 20-му столітті вченими різних країн. Першу таку електростанцію було побудовано в середині 20-го століття.

Рис. **6.4**

3. НОВІ ЗАСОБИ ЗВ'ЯЗКУ

У школі або вдома ви користуєтеся сучасними засобами зв'язку, найулюбленішим з яких є, мабуть, мобільний телефон. За його допомогою майже з будь-якого міста і навіть селища нашої країни можна миттєво встановити зв'язок з будь-яким містом не тільки нашої країни, а й усього світу!

Сучасні засоби зв'язку з'явилися завдяки фізичним відкриттям, багато з яких зроблено протягом останніх десятиліть.

З кожним роком проміжок часу між відкриттям і його застосуванням скорочується, але відкриття минулих століть справно «працюють» і сьогодні!

Наприклад, супутники зв'язку (рис. 6.5), що забезпечують передавання та приймання телефонних розмов і телевізійних програм по всьому світу, стали можливими завдяки тому, що в уже далекому 17-му столітті англійський фізик Ісак Ньютон відкрив закон всесвітнього тяжіння, якому однаково «підкоряються» і древні планети, і сучасні супутники.

У всіх сучасних приладах використовують електрику, основні закони якої відкрили ще в 19-му столітті.

Мабуть, ви дружите з комп'ютером? А його буквально начинено застосуваннями фізичних відкриттів! Насамперед це напівпровідники — речовини, спеціально створені людиною для потреб техніки. Завдяки напівпровідникам стало можливим розміщати на крихітному чипі мільйони приладів! Поява напівпровідників відкрила шлях до створення мобільних телефонів, цифрових фотоапаратів, відеокамер, лазерних програвачів (рис. 6.6).

Відкриття дивних особливостей напівпровідників зробили вчені кількох країн, зокрема й українські вчені. Про це ми розповімо в *§ 7. Видатні вчені — наші співвітчизники*.

Сучасний світ важко уявити собі без Інтернету — Всесвітньої мережі. Скоріше за все, у найближчому майбутньому Інтернет стане основним засобом передавання інформації. Для роботи Інтернету використовують телефонні мережі та супутники зв'язку.

Рис. 6.5

Рис. 6.6

4. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Науково-технічний прогрес значно покращив життя, але за все доводиться платити — зокрема й за науково-технічний прогрес. На жаль, головні сучасні джерела енергії — електростанції та двигуни автомобілів — дуже забруднюють довкілля.

Теплові електростанції (рис. 6.7) викидають в атмосферу величезну кількість продуктів згоряння палива. І сьогодні це вже стало проблемою планетарного масштабу. Крім того, запаси викопного палива — газу, нафти, вугілля — не безмежні, і людство вже сьогодні відчуває їхню нестачу.

Гідроелектростанції не викидають в атмосферу продуктів згоряння палива, однак і вони завдають шкоди довкіллю: щоб створити необхідну для роботи гідроелектростанції різницю рівнів води, доводиться будувати на річках високі греблі, через що виникають штучні «моря», тобто величезні затоплені території.

Рис. 6.7

Рис. 6.8

Атомні електростанції (рис. 6.8) значно менше забруднюють довкілля, ніж теплові, а запасів урану, що є «паливом» для них, вистачить на кілька століть. Але й атомні електростанції можуть загрожувати довкіллю. По-перше, аварії на цих станціях особливо небезпечні, бо вони можуть супроводжуватися викидом радіоактивних речовин, що є загрозою для здоров'я та життя людей на великій території. На жаль, такі аварії трапилися в другій половині 20-го століття в США й в Україні (Чорнобиль), яка входила тоді до складу СРСР. По-друге, під час роботи атомних станцій утворюються небезпечні радіоактивні відходи. Їхнє надійне захоронення є складною науково-технічною проблемою, розв'язання якої потребує великих коштів.

Ось чому фізики всього світу наполегливо шукають інші (так звані «альтернативні») способи виробляння електроенергії. Найперспективнішим є термоядерний синтез — так називають процес злиття атомних ядер, унаслідок якого водень перетворюється в гелій. Саме такі

процеси є джерелом енергії Сонця. «Паливо» для електростанцій, у яких будуть горіти «земні сонця», можна добувати з морської води, запаси якої практично необмежені! Особлива привабливість таких електростанцій полягає також у тому, що вони найменше забруднюють довкілля.

Але щоб запалити «земні сонця», потрібні ще десятиліття напруженої творчої праці багатьох фізиків та інженерів. Може, і ви згодом захочете взяти в ній участь?

Важливими для захисту довкілля є розробка електромобілів та заміна ними звичайних автомобілів, бо теплові автомобільні двигуни надзвичайно забруднюють атмосферу міст, особливо великих.

У розвинених країнах, зокрема й в Україні, учені й інженери шукають способи захисту довкілля, причому з кожним роком все активніше.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому фізика впливала раніше й так суттєво впливає сьогодні на розвиток цивілізації?
2. Наведіть приклади застосування фізичних відкриттів у виробництві, побуті, на транспорті. Чи зможете ви навести приклади, яких не згадано в тексті?
3. Які приклади застосування фізичних відкриттів трапилися вам саме сьогодні? Цієї години?
4. Які ви знаєте сучасні джерела енергії? Які їхні переваги та недоліки?
5. Розкажіть про сучасні засоби зв'язку. Які фізичні відкриття використано в них?
6. Які головні джерела забруднення довкілля? Що роблять сьогодні для захисту довкілля?

§7 ВИДАТНІ ВЧЕНІ — НАШІ СПІВВІТЧИЗНИКИ

Багато видатних фізиків і інженерів, що здобули світову славу, народилися в Україні, працювали й працюють тут сьогодні. В одному параграфі ми зможемо розповісти тільки про деяких з них. Щоб нариси про вчених відповідали перебігу історії науки, ми розташували ці нариси за роком народження вченого.

Читаючи про досягнення вчених, ви познайомитеся з науковими термінами, значення яких буде докладніше розкрито під час подальшого вивчення фізики.

ІВАН ПАВЛОВИЧ ПУЛЮЙ (1845–1918)

Народився на Тернопільщині. Після закінчення Тернопільської гімназії вирушив пішки для навчання у Віденському університеті. Став деканом першого в Європі електротехнічного факультету в Празькому політехнічному інституті.

Іван Пулюй стояв біля витоків відкриття рентгенівських променів: саме він отримав перші високоякісні рентгенограми. Усі експерименти вчений проводив із вакуумними трубками власної конструкції. Він приділяв увагу також проблемам молекулярної фізики, дослідженню властивостей та природи катодних променів, першим дослідив світіння неону. За участі Пулюя введено в дію першу в Європі електростанцію, що виробляла змінний струм.

Іван Пулюй був також висококваліфікованим спеціалістом із стародавніх мов.

МИКОЛА ОЛЕКСІЙОВИЧ УМОВ (1846–1915)

Народився в Симбірську (Росія). Понад 20 років (з 1871 по 1893) працював у Новоросійському університеті, як називали тоді Одеський університет.

Під час роботи в Одесі Микола Умов виконав дослідження щодо поширення електромагнітної енергії, які принесли йому світове визнання. Незалежно від англійського фізика Джона Пойнтінга Микола Умов увів фізичну величину, яка характеризує цей процес. На честь цих вчених її названо «вектором Умова–Пойнтінга». Виконав також важливі дослідження в галузі теорії коливань, електрики, оптики, земного магнетизму, молекулярної фізики. Випередивши свій час, передбачив складну будову атома.

Умов вивчав дифузію водних розчинів, поляризацію світла. Багато уваги вчений приділяв поширенню наукових знань.

МИКОЛА ДМИТРОВИЧ ПІЛЬЧИКОВ (1857–1908)

Народився в Полтаві, закінчив Харківський університет. Працював у Харківському та Новоросійському (нині Одеському) університетах.

Микола Пільчиков — засновник теорії аномалій земного магнетизму. Він відкрив також явище електронної фотографії та сформулював її принципи, провів фундаментальні дослідження електричних явищ в атмосфері та властивостей світла, створив численну кількість оригінальних приладів і пристроїв, багато з яких названо його ім'ям, зокрема й прообраз сучасного скафандра.

Пільчиков першим у світі поставив експерименти з радіокерування на відстані, на власні кошти збудував першу радіостанцію в Україні.

Учений чудово грав на скрипці, захоплювався живописом, писав вірші.

ЄВГЕН ОСКАРОВИЧ ПАТОН (1870–1953)

Народився в Ніцці (Франція), закінчив Дрезденський політехнічний інститут (Німеччина) та Санкт-Петербурзький інститут інженерів шляхів сполучення (Росія).

У 1934 році заснував у Києві перший у світі Інститут електрозварювання, який носить тепер його ім'я. Цей науковий заклад і сьогодні є провідним у світі.

Світового визнання Євгену Патону надали роботи з конструювання залізничних мостів та технології зварювання. За його участю споруджено понад 100 зварних мостів, зокрема знаменитий суцільнозварний міст через Дніпро в Києві, відомий усім киянам та гостям столиці як «міст Патона».

Під час Другої світової війни під керівництвом Євгена Патона було розроблено обладнання та технологію зварювання спеціальних сталей для танків.

ІГОР ІВАНОВИЧ СІКОРСЬКИЙ (1889–1972)

Народився в Києві. Навчався в Київському політехнічному інституті. У 1909 році почав будувати в Києві гелікоптер (сьогодні цей літальний апарат частіше називають гвинтокрилом або вертольотом).

На початку 20-го століття Ігор Сікорський сконструював літаки, що були визнані найкращими в Російській імперії.

Зокрема, Сікорський сконструював перший у світі чотирьохмоторний літак.

З 1919 року Сікорський жив та працював у США. Світового визнання він набув завдяки сконструйованим ним гвинтокрилам, причому всі перші польоти на них Сікорський виконував сам!

Сьогодні близько 90 % гвинтокрилів у всьому світі розробляють за принципом, винайденим Сікорським: великий гвинт зверху та малий — на хвості збоку.

ЮРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ КОНДРАТЮК (1897–1942)

Народився в Полтаві. Справжні ім'я та прізвище — Олександр Шаргей. У 1920 році, під час громадянської війни, він був змушений змінити їх і став всесвітньо відомим уже як Юрій Кондратюк. Працював у різних містах, зокрема в Харкові.

Саме Кондратюк запропонував підхід для польоту на Місяць, що був здійснений американськими космонавтами. Юрій Кондратюк запропонував вивести спочатку космічний корабель на орбіту навколо Місяця, а потім запустити з корабля злітно-посадковий апарат, на якому людина висадиться на Місяці та повернеться на космічний корабель.

Використання цієї ідеї Кондратюка надало йому світової слави. Його ім'ям названо один із кратерів на Місяці.

ОЛЕКСАНДР ТЕОДОРОВИЧ СМАКУЛА (1900–1983)

Народився на Тернопільщині. Після закінчення гімназії в Тернополі виїхав для здобуття вищої освіти до Геттінгенського університету (Німеччина).

У 30-х роках 20-го століття Олександр Смакула винайшов спосіб просвітлення оптики, який застосовують дотепер у всьому світі. Цей спосіб полягає в нанесенні на поверхню скла дуже тонкої прозорої плівки (її називають «шаром Смакули»), завдяки чому прозорість скла значно збільшується. Шар Смакули надає об'єктиву фотоапарата лілуватого відтінку, знайомого всім, хто брав у руки фотоапарат.

Олександр Смакула розробив також унікальну технологію вирощування монокристалів, які за своїми властивостями кращі за дорогоцінні метали — золото та платину. Методи, розроблені Смакулою, використовують і сьогодні.

ВАДИМ ЄВГЕНОВИЧ ЛАШКАРЬОВ (1903–1974)

Народився та здобув вищу освіту в Києві.

Вадим Лашкарьов першим у світі експериментально відкрив так званий *p—n*-перехід у напівпровідниках. На цьому явищі ґрунтується дія напівпровідникових приладів, що є «мозком» усієї сучасної техніки: вони входять до складу комп'ютерів, цифрових фотоапаратів, відеокамер, мобільних телефонів, побутової техніки.

Під керівництвом Вадима Лашкарьова в Інституті фізики Академії наук України було налагоджено виробництво транзисторів. Вадим Лашкарьов створив наукову школу в галузі фізики напівпровідників, яка здобула світову славу.

Він заснував Інститут напівпровідників Академії наук України, який названо тепер його ім'ям.

ДЖОРДЖ (ГЕОРГІЙ АНТОНОВИЧ) ҐАМОВ (1904–1968)

Народився в Одесі. Вищу освіту здобув в Одеському та Ленінградському (нині Санкт-Петербурзькому) університетах. Працював у Росії, Німеччині, Данії, США.

За підтвердження трьох теоретичних передбачень Джорджа Ґамова кільком вченим було присуджено найвищу наукову нагороду — Нобелівську премію. Але самого автора відкриттів ця нагорода минула, що й дотепер викликає жаль у багатьох учених.

Одне з найвидатніших відкриттів Ґамова — розгадка виникнення Всесвіту. Згідно зі створеною вченим моделлю «гарячого Всесвіту» Всесвіт виник близько 13 мільярдів років тому внаслідок величезного вибуху, який дістав назву «Великого Вибуху». Ґамов довів, що відлуння цього вибуху — так зване «реліктове проміння» — можна виявити й сьогодні. Саме його і знайшли вчені, які отримали за це Нобелівську премію!

СЕРГІЙ ПАВЛОВИЧ КОРОЛЬОВ (1907–1966)

Народився у Житомирі. Навчався спочатку в Одесі, а потім у Києві, у політехнічному інституті. Продовжував здобувати освіту в Москві.

Після Другої світової війни Сергій Корольов став Головним конструктором космічної програми колишнього Радянського Союзу.

Під його керівництвом та за його безпосередньою участю розроблено ракети, за допомогою яких у 1957 році було запущено перший у світі штучний супутник Землі, а в 1961 році здійснено перший політ людини в космос. У 1965 році з розробленого Корольовим космічного корабля людина вперше вийшла у відкритий космос.

Групою вчених та інженерів під керівництвом Корольова було розроблено також автоматичні космічні апарати, які досягли Місяця, Венери та Марса.

ЛЕВ ДАВИДОВИЧ ЛАНДАУ (1908–1968)

Народився в Баку (Азербайджан). Закінчив середню школу в 14 років, навчався в Бакинському та Ленінградському університетах.

У 1932 році Лев Ландау приїхав до Харкова, де очолив теоретичній відділ Українського фізико-технічного інституту та працював там до 1937 року. Саме тут зародилася всесвітньо відома школа теоретичної фізики — «школа Ландау».

Під час перебування вченого в Харкові це місто стає одним зі світових центрів фізики: заради обговорення проблем сучасної фізики та співпраці з Ландау сюди приїжджають видатні фізики з інших країн. Левові Ландау був притаманний унікальний універсалізм: він зробив відкриття майже в усіх галузях фізики!

За видатний внесок у фізику Лева Ландау було нагороджено Нобелівською премією.

БОРИС ЄВГЕНОВИЧ ПАТОН (народився у 1918 році)

Народився в Києві. Закінчив Київський політехнічний інститут.

Гідно продовжив справу свого видатного батька, Євгена Патона, очоливши після нього Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона.

Дослідив процеси автоматичного зварювання, розробив принципово нові методи електрозварювання.

Першим у світі дослідив проблеми зварювання в космічному просторі та створювання зварних космічних конструкцій. Завдяки дослідженням Б. Є. Патона вперше у світі було здійснено зварювання у відкритому космосі.

З 1962 року Борис Патон — Президент Національної академії наук України. За його керівництва цей науковий заклад став всесвітньовідомим центром фундаментальних та прикладних досліджень. Борис Патон — Президент Міжнародної асоціації академій наук.

У наведених стислих нарисах ми, зрозуміло, не змогли розповісти про всіх українських фізиків та інженерів, що здобули світову славу. За нестачею місця ми можемо тільки згадати тут ще кілька славетних імен вчених, які пов'язані з Україною та ввійшли в історію фізики та техніки: О. І. Ахієзер, М. М. Боголюбов, А. К. Вальтер, Б. І. Веркін, О. С. Давидов, А. Ф. Іоффе, Н. П. Кастерін, Г. В. Курдюмов, Г. Д. Латишев, О. І. Лейпунський, І. М. Ліфшиц, В. П. Линник, К. Д. Синельников, С. І. Пекар, О. Г. Ситенко, М. Смолуховський, М. В. Пасічник, І. Л. Повх, А. Ф. Прихотько, Л. В. Шубніков.

Якщо ви зацікавитесь фізикою, то познайомитесь з дослідженнями згаданих учених.

Багато фізиків та техніків, відомих у всьому світі, працюють в нашій країні і сьогодні.

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- Фізика вивчає механічні, теплові, електричні, магнітні й оптичні явища.
- До механічних явищ відносять рух тіл і взаємодію між тілами.
- До теплових явищ відносять нагрівання й охолодження тіл, а також перехід речовини, з якої складаються тіла, з одного стану в інший (газ, рідина, тверде тіло).
- До електричних явищ відносять взаємодію електрично заряджених речовини, з якої складаються тіла, а до магнітних — взаємодію постійних магнітів, а також провідників зі струмами. Електричні й магнітні явища є проявами електромагнітних явищ.
- На електромагнітних явищах ґрунтується дія електростанцій та електродвигунів, радіозв'язку, телебачення, комп'ютерів.
- Оптичними, або світловими, явищами називають явища, пов'язані зі світлом.
- Дослід відрізняється від спостереження тим, що, проводячи дослід, учений створює спеціальні умови перебігу природних явищ.
- Основні принципи наукового методу: 1) на підставі спостережень за природними явищами вчений робить припущення про закономірності перебігу цих явищ (наукові гіпотези); 2) щоб перевірити гіпотезу, учений проводить досліди (експерименти), у яких створює спеціальні умови з метою з'ясувати, від чого і як залежить перебіг явищ.
- У SI за одиницю довжини прийнято 1 метр (м), за одиницю часу — 1 секунду (с), за одиницю маси — 1 кілограм (кг).
- Кожне фізичне тіло має певну масу. Масу тіла можна виміряти зважуванням.
- Мірою взаємодії тіл є сила. Одиницею сили в SI є 1 ньютон (Н). Силу вимірюють динамометром.

- Силу, з якою Земля притягує предмети, називають силою тяжіння.
- Пристрої, за допомогою яких вимірюють фізичні величини, називають вимірювальними приладами. Ціною поділки приладу називають різницю значень фізичної величини, що відповідають найближчим штрихам шкали.
- Тіла, що оточують нас і які можна спостерігати неозброєним оком, називають макросвітом.
- Світ космічних тіл називають мегасвітом.
- Світ частинок, з яких складається речовина, називають мікросвітом.
- Сили пружності виникають унаслідок деформації тіл.
- Сили тертя діють між дотичними тілами, коли вони рухаються одне відносно другого або коли одне тіло намагаються зрушити відносно другого.
- Між усіма тілами діють сили всесвітнього тяжіння. Помітно виявляють вони себе тільки тоді, коли хоча б одне з тіл, що взаємодіють, має дуже велику масу (є планетою або зорею).
- Коли напрямок сили збігається з напрямком переміщення, механічна робота дорівнює добутку сили на переміщення.
- Фізичну величину, що характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу внаслідок зміни свого стану, називають енергією.
- Частину механічної енергії, яку зумовлено взаємодією тіл, називають потенціальною енергією, а частину механічної енергії, яку зумовлено рухом тіла, називають кінетичною енергією.
- Закон збереження енергії: у всіх процесах, що відбуваються в природі, сумарна енергія всіх тіл, що взаємодіють, зберігається.
- Фізика є основою науково-технічного прогресу.
- Охорона довкілля сьогодні є найважливішою проблемою людства.

розділ 2

БУДОВА РЕЧОВИНИ

- Атоми та молекули
- Рух і взаємодія молекул
- Гази
- Рідини
- Тверді тіла

§8 АТОМИ ТА МОЛЕКУЛИ

1. Атоми
2. Молекули
3. Розміри молекул і атомів
Хочеш дізнатися більше?
«Живі» молекули
Чи дійсно атом є неподільним?

1. АТОМИ

Тіла складаються з ***речовини***. Питання про ***будову*** речовини цікавило вчених ще з далекої давнини.

Одні вчені вважали, що речовину можна ділити на менші частини нескінченно. Наприклад, казали вони, краплю води можна дробити скільки завгодно, але найдрібніші краплі все одно залишаються краплями ***води***! І межі такому поділові ***не видно***, із чого ці вчені робили висновок, що її взагалі ***немає***.

Інші ж учені, серед яких був давньогрецький філософ Демокріт, що жив у 5-му столітті до нашої ери, виявили більшу проникливість. Демокріт стверджував, що речовина складається з крихітних неподільних частинок, настільки малих, що їх навіть не видно. Наприклад, вода, висихаючи, не зникає, а дробиться на найменші частинки, які не можна побачити оком. Демокріт назвав неподільні частинки речовини «атомами»[1].

Так Демокріт, випереджаючи свій час на тисячоліття, висловив геніальну думку: ***існувати*** може навіть те, що не можна побачити оком! Своє припущення про будову речовини Демокріт виразив знаменитими словами: «***у світі є лише атоми та порожнеча***».

Але тільки через дві з половиною тисячі років, у 19-му столітті, учені одержали на дослідах перші підтвердження атомної будови речовини.

[1] Від грецького «атомос», що означає «неподільний».

У 20-му столітті наука досягла такого рівня, що вчені змогли ***побачити*** атоми. На рис. 8.1 наведено фотографію поверхні вістря голки (з тугоплавкого металу вольфраму), зроблену за допомогою спеціального мікроскопа, роль пучків світла в якому відігравали пучки заряджених частинок. Кружечки — це зображення ***окремих атомів*** Вольфраму[1]!

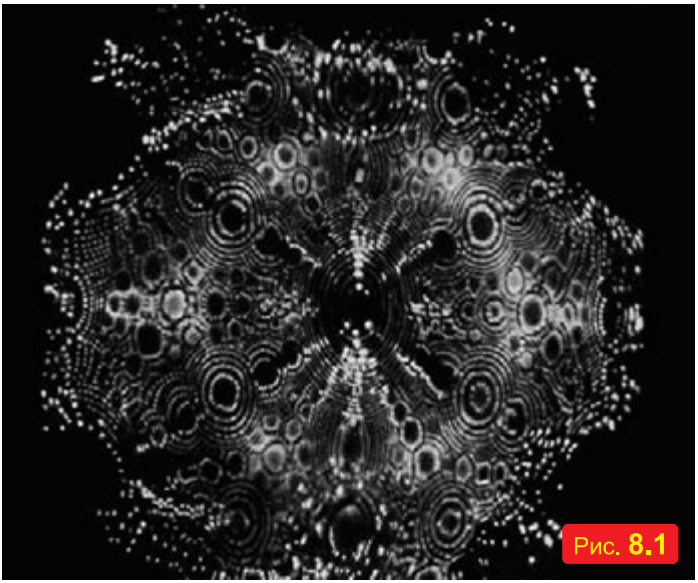


Рис. **8.1**

На численних дослідах установлено, що

всі тіла навколо нас складаються з атомів.

З атомів складаються й наші власні тіла! Це довгий час здавалося незбагненним: як живі істоти можуть складатися з неживих атомів?

Сьогодні відповідь на це запитання вже знайдено: з'ясувалося, що будова живих тіл дуже відрізняється від будови неживих тіл. Ми розповімо про це в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

[1] Назви хімічних елементів треба писати з великої літери, а назви відповідних речовин — з малої, тобто атом Вольфраму, а метал — вольфрам.

Ученим відомо сьогодні понад 100 різних типів атомів. Маси всіх атомів приблизно кратні масі найлегшого атома[1] — атома Гідроґену[2]. Наприклад, маса наступного за масою атома — атома Гелію в 4 рази більша за масу атома Гідроґену, а маса атома Карбону приблизно у 12 разів більша за масу атома Гідроґену. Ми не випадково згадали про Карбон: за ***атомну одиницю маси*** (її позначають а. о. м.) прийнято саме 1/12 маси атома Карбону.

Наприклад, маса атома Гідроґену дорівнює 1 а. о. м., маса атома Гелію — 4 а. о. м., маса атома Оксиґену — 16 а. о. м., а маса атома Феруму − 56 а. о. м.

2. МОЛЕКУЛИ

На досить малих відстанях атоми притягуються один до одного, завдяки чому ***атоми з'єднуються в молекули***.

Так, молекула води складається з одного атома Оксиґену і двох атомів Гідроґену. На рис. 8.2 показано модель молекули води: атом Оксиґену умовно позначено зеленим кольором, атом Гідроґену — жовтим. Поруч на рис. 8.3 ви бачите моделі молекул кисню[3] та водню: кожна з них складається із двох однакових атомів.

На рис. 8.4 зображено молекулу метану, одного із складників природного газу. Ця молекула складається з одного атома Карбону та чотирьох атомів Гідроґену. Атоми Карбону часто утворюють немовби своєрідний «скелет» для побудови великих молекул. Наприклад, на рис. 8.5 зображено модель «кільцевої» молекули бензолу, до складу якої входять 6 атомів Карбону та 6 атомів Гідроґену, а на рис. 8.6 — модель молекули, складеної з декількох десятків атомів.

---

[1] Чому це так, буде пояснено в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

[2] Для назв хімічних елементів треба вживати міжнародні назви, зокрема й для тих, які мали традиційні українські, наприклад: Гідроґен раніше називали воднем, Нітроґен − азотом, Карбон − вуглецем, Оксиґен − киснем, Ферум − залізом, Аурум − золотом.

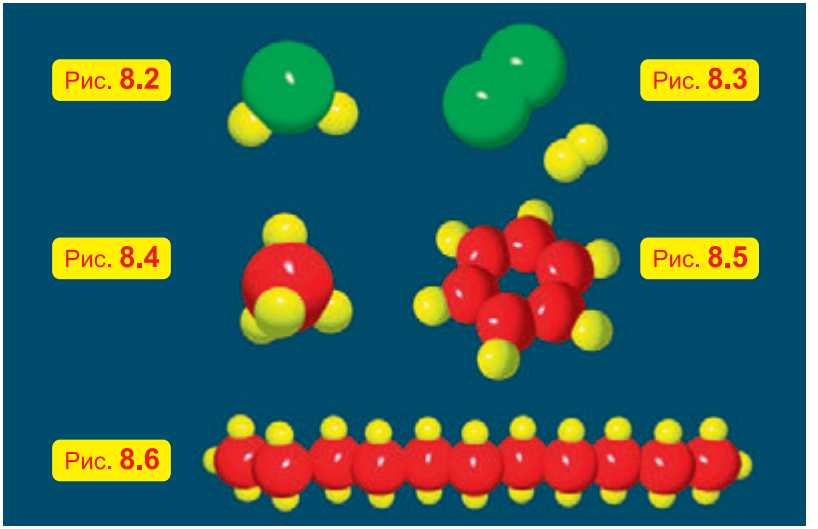
[3] Для назв деяких речовин, молекули яких містять атоми лише одного типу, у хімії збережено традиційні українські назви, зокрема водень, азот, вуглець, кисень, залізо, золото. І відповідно саме такі назви треба вживати для назв молекул цих речовин.

Серед величезного різноманіття молекул, побудованих на основі атомів Карбону, є складені з мільйонів атомів! Саме такі молекули входять до складу живих істот, зокрема й нас з вами. Про ці молекули ми розповімо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Властивості речовини визначає тип її молекул, тому молекула є найдрібнішою частинкою речовини.

Наприклад, вода складається з молекул, до складу яких входять атоми Гідрогену та Оксиґену, але за кімнатної температури вода — рідина, а водень та кисень — гази.

Ученим сьогодні відомо кілька ***мільйонів*** типів молекул. І кожен тип молекул відповідає певній речовині зі своїми властивостями.



3. РОЗМІРИ МОЛЕКУЛ І АТОМІВ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Капнемо на поверхню спокійної води крапельку олії (краще взяти оливкову олію). Олія розтечеться по поверхні води дуже тонким шаром. Однак товщина олійної плівки не може бути меншою від розміру молекули олії, що й визначає максимальну площу плівки

(рис. 8.7). Так, досліди свідчать, що крапелька оливкової олії об'ємом 1 мм^3 розтікається плямою, площа якої не перевищує 1 м^2.

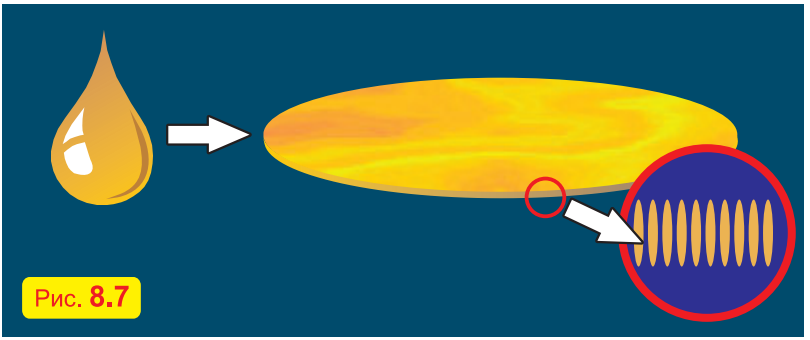


Рис. **8.7**

Знаючи об'єм крапельки та площу олійної плівки, можна оцінити довжину молекули олії (ці молекули мають подовжену форму й розташовані на поверхні води перпендикулярно до поверхні). Якщо з крапельки об'ємом 1 мм^3 утворюється олійна плівка площею 1 м^2, то товщина плівки, яка дорівнює приблизно довжині молекули олії, складає близько 1 нанометра (нм), тобто одної мільярдної частки метра! Візьміть до уваги, що молекула олії складається з багатьох атомів!

Найменша молекула — одноатомна молекула гелію (близько 0,2 нм). Розмір молекули води, що складається з двох атомів Гідроґену й одного атома Оксиґену, трохи більше: близько 0,3 нм.

Отже, характерною довжиною у світі атомів і молекул є 0,1 нм.

Щоб ви змогли уявити розміри молекул, наведемо такі порівняння.

1. В одній чайній ложці води приблизно стільки ж молекул води, скільки чайних ложок води у Світовому океані (у всіх морях і океанах Землі разом узятих). Тобто, щоб перерахувати молекули води в чайній ложці, потрібно стільки ж часу, скільки для того, щоб вичерпати чайною ложечкою весь Світовий океан!

2. Атом Гідроґену приблизно в стільки разів менший від сливи, у скільки разів сама слива менша від земної

кулі. Уявіть собі, що величезна Земля складається вся зі слив, — і ви уявите, як сама слива складається з атомів!

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

«ЖИВІ» МОЛЕКУЛИ

Усі живі істоти складаються з величезних, надзвичайно складно побудованих молекул.

Наприклад, у кожній істоті є особливі молекули, у яких послідовністю атомів «записано» всю так звану «спадкову інформацію» — подібно до того, як у книзі літерами набрано текст.

Тільки завдяки неймовірно тонкій і точній «роботі» таких молекул дитина схожа на своїх батьків: кошеня — на кішку, а слоненя — на слона.

Модель короткого фрагмента такої «спадкової» молекули показано на рис. 8.8. Ці молекули згорнуто в дуже довгі спіралі. Щоб дати вам уявлення про кількість і довжину цих молекул, скажемо тільки, що якби «спадкові» молекули, які містяться в організмі ***однієї*** людини, вишикувати в один ряд, то їхня загальна довжина була б у сто разів більшою за відстань від Землі до Сонця!

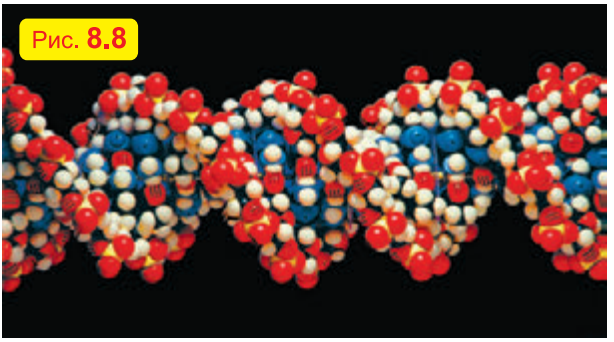


Рис. **8.8**

Молекули, з яких складаються живі істоти, часто називають біологічними. Будова й взаємодія біологічних молекул нагадують будову й роботу складних механізмів. Для вивчення структури й дії біологічних молекул фізика та біологія, об'єднавшись, породили нову науку — біофізику. Ця наука вивчає будову живих організмів, використовуючи методи не тільки фізики та біології, але й інших наук, наприклад хімії та інформатики.

ЧИ ДІЙСНО АТОМ Є НЕПОДІЛЬНИМ?

На початку 20-го століття вчені змогли проникнути й усередину атома.

Англійський учений Ернест Резерфорд, «обстрілюючи» атоми пучками швидких частинок, установив, що деякі з цих частинок унаслідок зіткнення з атомами «відскакують» назад! Пояснити це можна було тільки тим, що всередині атома є крихітне ядро, у якому зосереджено практично всю масу атома.

Розрахунки, зроблені Резерфордом, показали, що розміри ядра приблизно в сто тисяч разів менші від розмірів атома. Тобто, якщо атом збільшити до розмірів циркової арени, то ядро було б «маковим зернятком» посередині арени!

Отож Демокріт, який стверджував, що в природі є тільки атоми та порожнеча, недооцінив «роль» порожнечі: виявилося, що й атоми «наповнені» переважно порожнечею!

Ядро має позитивний електричний заряд, а навколо ядра рухаються дуже легкі негативно заряджені частинки — електрони. Це нагадує Сонячну систему. Подібність атома до Сонячної системи посилюється й тим, що майже вся маса Сонячної системи зосереджена в Сонці: маса всіх планет, разом узятих, складає близько однієї тисячної частки маси Сонця.

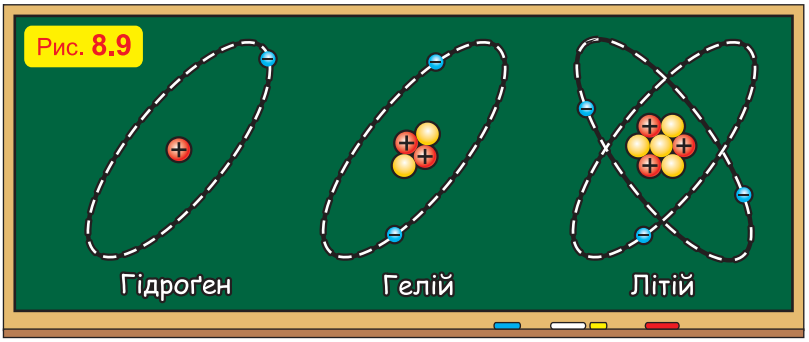
Виходячи з цього, Резерфорд запропонував «планетарну» модель атома, згідно з якою електрони в атомі рухаються навколо атомного ядра подібно до того, як планети рухаються навколо Сонця. Однак незабаром з'ясувалося, що рух електронів відбувається зовсім за іншими законами, ніж рух планет. Докладніше ви довідаєтеся про це з курсу фізики наступних класів.

Отже, виявилося, що атом є подільним: він складається з атомного ядра й електронів. Відразу ж виникло запитання: а чи є неподільним атомне ядро?

У подальших дослідах (зокрема, проведених тим самим Резерфордом) з'ясувалося, що ядро атома складається з частинок двох типів — позитивно заряджених протонів і нейтронів, які не мають електронного заряду.

Маси протона та нейтрона виявилися приблизно однаковими. Це пояснило, чому маси всіх атомів приблизно кратні масі атома Гідроґену: ядро атома Гідроґену складається з одного протона, а ядра всіх інших атомів побудовано з частинок приблизно однакової маси, як з однакових «цеглинок».

На рис. 8.9 схематично зображено будову найпростіших атомів — атомів Гідроґену, Гелію та Літію.



Однак на цьому подорож «усередину матерії» не зупинилася: у другій половині 20-го століття вчені відкрили, що протон і нейтрон — також складені частинки! Докладніше про це ви теж довідаєтеся з курсу фізики наступних класів.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які ви знаєте дослідні підтвердження того, що речовина складається з окремих частинок? Як називають ці частинки?
2. Який атом має найменшу масу? Як пов'язані маси інших атомів з масою цього атома?
3. Чим відрізняються молекули від атомів?
4. Молекули яких речовин вам відомі?
5. Які розміри атомів? Чи можете ви навести порівняння, що дозволяє уявити ці розміри?
6. Чи є атом неподільним?

§9 РУХ І ВЗАЄМОДІЯ МОЛЕКУЛ

1. Рух молекул
2. Взаємодія молекул
3. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії
Хочеш дізнатися більше?
Природа взаємодії молекул
Чому рух молекул ніколи не припиняється?

1. РУХ МОЛЕКУЛ

БРОУНІВСЬКИЙ РУХ

На початку 19-го століття англійський ботанік Роберт Броун, спостерігаючи в мікроскоп змулені у воді крихітні частинки пилку рослин, зробив дивне відкриття. Він побачив, що частинки пилку перебувають у «вічному танці», безперестанно хаотично рухаючись.

Учений припустив, що частинки пилку рухаються тому, що вони живі, і повторив дослід з потовченими на дрібний пил шматочками каменю. Але й частиночки каменю «танцювали без утоми»! Цей рух, який назвали броунівським, залишався загадкою протягом 50 років. Тільки наприкінці 19-го століття вчені дійшли висновку, що броунівський рух спричинено бомбардуванням цих частинок молекулами води. Якщо частинка дуже мала, удари молекул води по ній з різних боків не компенсують один одного, що й спричинює безперестанний хаотичний рух частинки.

На рис. 9.1 наведено зроблену за допомогою мікроскопа фотографію, яка добре ілюструє хаотичність руху броунівських частинок. На цій фотографії відрізками з'єднано послідовні положення частинки через 1 хв.

Броунівський рух є дослідним підтвердженням молекулярної будови речовини й руху молекул.

Броунівський рух відіграє роль «містка» між ***макросвітом*** — світом тіл, які можна безпосередньо спостерігати, і ***мікросвітом*** — світом молекул і атомів.

Рис. **9.1**

З ЯКИМИ ШВИДКОСТЯМИ РУХАЮТЬСЯ МОЛЕКУЛИ?

Швидкості молекул учені обчислили теоретично наприкінці 19-го століття.

Результат виявився разючим: згідно з розрахунками, у повітрі навколо нас молекули носяться зі швидкостями артилерійських снарядів — сотні метрів за секунду!

Такі швидкості молекул здалися деяким ученим надто великими, унаслідок чого існування молекул викликало в них сумніви.

Однак на початку 20-го століття швидкість молекул удалося виміряти на дослідах, і досліди підтвердили теоретичні висновки. Відповідно до розрахунків, підтверджених дослідами,

з підвищенням температури швидкість хаотичного руху молекул збільшується.

Чому ж ми не відчуваємо своєю шкірою «обстрілу» молекулами, що рухаються з такими величезними швидкостями? Річ у тім, що маси молекул надзвичайно малі, а їхні удари — дуже часті. І тому «барабанний дріб» швидких ударів крихітних молекул виявляє себе як постійний тиск повітря.

Як свідчать досліди, за кімнатної температури атоми та молекули в рідинах і твердих тілах рухаються також зі швидкостями артилерійських снарядів.

ДИФУЗІЯ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Капнемо краплю парфумів в одному кінці кімнати. Через деякий час запах парфумів поширюється по всій кімнаті. Як ви здогадалися, це означає, що молекули ароматичних речовин, що входять до складу парфумів, «розлетілися» по всій кімнаті, тобто відбулося проникнення молекул однієї речовини в іншу.

Дифузією називають взаємне проникнення частинок однієї речовини в іншу, спричинене рухом молекул.

Чому ж молекули ароматичних речовин не долетіли до нас практично миттєво, раз вони рухаються зі швидкостями артилерійських снарядів? Річ у тім, що, рухаючись, ці молекули багаторазово зіштовхуються з молекулами, з яких складається повітря. Тому траєкторії молекул нагадують траєкторії руху броунівських частинок. Поширенню запахів сприяють потоки повітря.

Дифузія є дослідним підтвердженням руху молекул.

Дифузія відбувається також у рідинах і навіть у твердих тілах.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Капніть у чашку з водою краплю чорнил або йоду. Ви побачите, що завдяки дифузії крапля «гілкується» та поступово «тане», надаючи слабкого забарвлення всій воді (рис. 9.2–9.4).

Дифузія в рідинах відбувається значно повільніше, ніж у газах, хоча в рідинах молекули рухаються приблизно з такими самими швидкостями, як і в газах. Річ у тім, що на відміну від газів, де молекули розташовані на досить великих відстанях одна від одної (у кілька разів

більших за розміри самих молекул), у рідинах молекули розташовані практично впритул. І тому в процесі дифузії одним молекулам доводиться начебто «проштовхуватися» крізь щільний «натовп» інших молекул. Це й сповільнює процес дифузії. Схематично процес дифузії в рідинах зображено на рис. 9.5–9.7.

Рис. 9.2

Рис. 9.3

Рис. 9.4

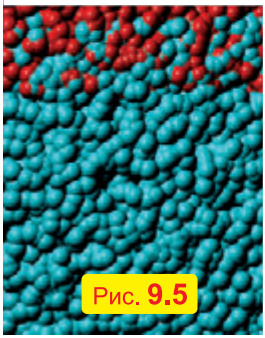


Рис. 9.5

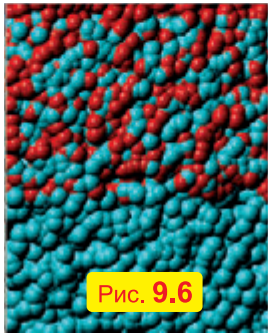


Рис. 9.6

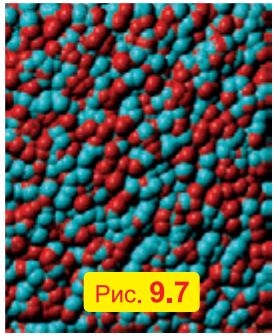


Рис. 9.7

Виявити дифузію у твердих тілах набагато складніше, ніж у рідинах і газах. Але все-таки можна. Наприклад, було поставлено такий дослід. Під прес поклали відполіровані пластини золота й свинцю, і через кілька років у свинці з'явились атоми з пластини золота, а в золоті — атоми з пластини свинцю: атоми з однієї пластини проникли в другу пластину внаслідок дифузії.

Чим же можна пояснити таку повільну дифузію у твердих тілах?

Річ у тім, що молекули або атоми твердих речовин розташовані звичайно не тільки впритул, але ще й ви-

шикувані «струнками рядами». Щоб «протиснутися» навіть крізь один такий ряд, молекулі доводиться робити мільйони «спроб»! У результаті швидкість дифузії у твердих тілах є дуже малою.

2. ВЗАЄМОДІЯ МОЛЕКУЛ

Про взаємодію молекул свідчить уже саме існування рідин і твердих тіл.

ПРИТЯГАННЯ МОЛЕКУЛ

Якби молекули не ***притягались*** одна до одної, усі тіла відразу розсипалися б на окремі молекули, перетворившись на гази: газоподібний стан речовини якраз і відповідає порівняно слабкій взаємодії молекул.

Молекули різних тіл також притягуються одна до одної: цим можна пояснити, наприклад, дію клею.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Щоб уявити собі величину сил притягання між молекулами, спробуйте розірвати руками капронову нитку перерізом 1 мм^2. Навряд чи вам удасться це зробити, хоча зусиллям усього вашого тіла «протистоять» сили притягання крихітних молекул у малому перерізі нитки. Ці сили схематично показано на рис. 9.8.

ВІДШТОВХУВАННЯ МОЛЕКУЛ

Якби молекули лише притягувалися, не можна було б зрозуміти, чому рідини й тверді тіла практично нестисливі, тобто чинять великий опір зменшенню об'єму.

Цю їхню властивість можна пояснити ***відштовхуванням*** молекул.

Відштовхування молекул зумовлює також взаємодію твердих тіл у разі безпосереднього контакту, коли тіла тиснуть одне на одне.

Наприклад, ви не провалюєтеся крізь підлогу тому, що молекули ваших підошов відштовхуються від молекул, з яких складається підлога. Ці сили відштовхування схематично показано на рис. 9.9.

Отже, ми можемо зробити висновок, що

молекули взаємодіють між собою: на дуже малих відстанях молекули відштовхуються, а на трохи більших — притягуються.

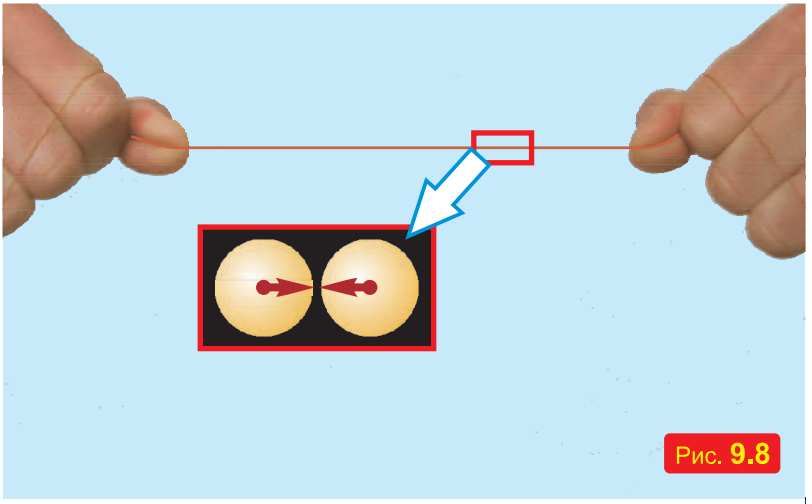


Рис. **9.8**

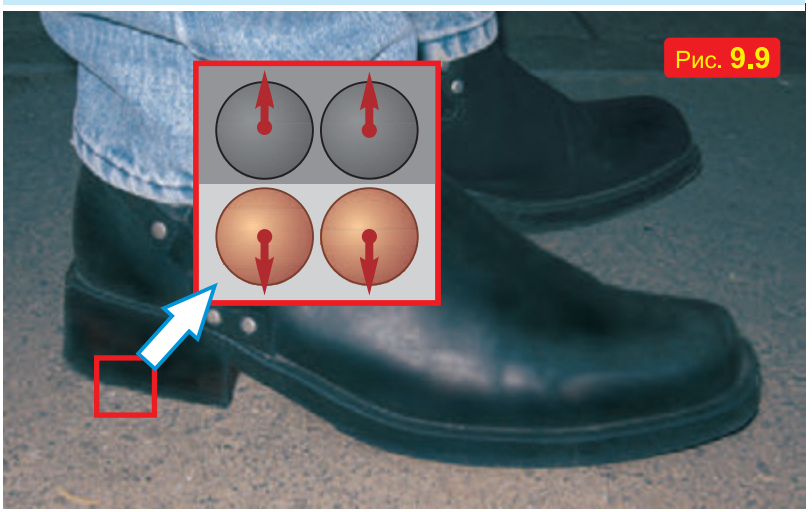


Рис. **9.9**

Коли відстані між молекулами набагато більші за їхні розміри, молекули майже зовсім не взаємодіють.

3. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

Виходячи з описаних вище спостережень і дослідів, ми можемо сформулювати такі положення:

1) усі речовини складаються з крихітних частинок — атомів і молекул;

2) частинки речовини хаотично та безперестанно рухаються;

3) частинки речовини взаємодіють між собою.

Ці положення покладено в основу ***молекулярно-кінетичної теорії*** — сучасного вчення про будову речовини.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ПРИРОДА ВЗАЄМОДІЇ МОЛЕКУЛ

Взаємодія молекул має електричну природу. Ця взаємодія має досить складний характер, тому ми обмежимося тут лише деякими поясненнями.

Відштовхування молекул на дуже малих відстанях зумовлене тим, що, коли молекули розташовані впритул одна до одної, основну роль відіграє взаємодія «зовнішніх частин» їхніх атомів, тобто електронів. Електрони заряджені негативно, а однойменно заряджені частинки відштовхуються.

Для більших відстаней між молекулами основну роль відіграє притягання між позитивно зарядженими ядрами атомів, що входять до складу однієї молекули, і негативно зарядженими електронами, що входять до складу атомів другої молекули. Тому відштовхування змінюється на притягання.

Складний характер взаємодії молекул удалося зрозуміти тільки у 20-му столітті, коли фізики створили ***квантову механіку*** — науку про рух і взаємодію крихітних частинок речовини. Про основні її положення ви дізнаєтеся з курсу фізики старших класів.

ЧОМУ РУХ МОЛЕКУЛ НІКОЛИ НЕ ПРИПИНЯЄТЬСЯ?

Рух молекул разюче відрізняється від руху предметів навколо нас. Рух предметів, як ви вже знаєте, через тертя сповільнюється

та зрештою припиняється. А от рух молекул ***не припиняється ніколи***.

Чому ж не зупиняються через тертя молекули? Річ у тім, що внаслідок тертя ***механічний рух*** перетворюється в хаотичний (тепловий) ***рух молекул*** — адже в результаті тертя тіла ***нагріваються***. Але самим молекулам «передати» енергію свого руху вже нікуди — вони рухаються в порожнечі, зіштовхуючись тільки ***одна з одною***. Унаслідок зіткнень молекул їхня енергія лише перерозподіляється між ними.

Вічний рух крихітних молекул подібний в цьому сенсі до вічного руху величезних планет: планети, як і молекули, рухаються в порожнечі, і тому їхня механічна енергія залишається практично незмінною протягом мільйонів років.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке броунівський рух? Про що він свідчить?
2. Які приблизно швидкості молекул? Чому ми не відчуваємо ударів молекул повітря?
3. Що таке дифузія? Чим її спричинено?
4. У яких тілах відбувається дифузія? Де вона відбувається найшвидше?
5. З яких спостережень можна зробити висновок, що молекули притягуються одна до одної? Відштовхуються?
6. Які основні положення молекулярно-кінетичної теорії?
7. Яку природу має взаємодія молекул?

§10 ГАЗИ

1. Властивості газів
2. Молекулярна будова газів

1. ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ

Як ви вже знаєте, речовина може перебувати в трьох станах: ***твердому***, ***рідинному*** чи ***газоподібному***. Ці стани речовини називають ***агрегатними станами***.

У цьому параграфі ми опишемо досліди та спостереження за газами, а потім розповімо про молекулярну будову газів, якою зумовлено їхні властивості.

Наочним прикладом газу є повітря навколо нас. Ми живемо «на дні» величезного повітряного океану, глибина якого становить десятки кілометрів. Це ***атмосфера***. На рис. 10.1 ви бачите зроблену з космосу фотографію атмосфери Землі.

Повітря складається переважно з двох газів — азоту (близько 80 %) і кисню (близько 20 %). Усі живі істоти дихають киснем, що міститься у повітрі (риби дихають повітрям, розчиненим у воді). Тому про щось украй потрібне часто кажуть: «потрібне як повітря».

Повітря здається нам дуже легким. Але й воно має вагу, причому чималу: на кожен квадратний сантиметр поверхні Землі повітря тисне із силою, що дорівнює вазі кілограмової гирі. Наприклад, на поверхню столу площею 1 м^2 повітря тисне із силою, що дорівнює приблизно вазі навантаженого самоскида (рис. 10.2)! Стіл «витримує» силу тиску повітря тому, що приблизно з такою самою силою повітря тисне й на нижню поверхню столу.

Про те, що повітря тисне й знизу, свідчать повітряні кулі (рис. 10.3): вони тримаються в повітрі тільки тому,

що повітря тисне на них знизу з більшою силою, ніж зверху!

Повітря тисне й на поверхні тіл живих істот. І не розплющує воно їх тому, що тканини їхніх тіл чинять опір повітрю (рис. 10.4).

Тиск повітря ви вивчатимете в наступному навчальному році.

Ви можете «відчути» повітря, підставивши обличчя або руку вітрові. На висхідних потоках повітря парять птахи та дельтаплани (рис. 10.5).

Люди почали використовувати силу вітру ще з давніхдавен: саме з її допомогою вони подорожували морями та океанами, відкриваючи й заселяючи нові землі (рис. 10.6). Силу вітру використовували також у вітряках, а сьогодні використовують у вітроелектростанціях.

Так що «порожня» склянка або тим більше «порожня» кімната не такі вже й порожні! Наприклад, маса повітря в кімнаті середніх розмірів приблизно дорівнює масі дорослої людини (рис. 10.7).

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Занурте банку догори дном у воду: ви побачите, що вода не заповнює «порожню» банку (рис. 10.8)! Це відбувається тому, що в банці залишилося повітря. Нахиліть

банку, і ви побачите, як повітря виходить із банки бульбашками.

Рис. 10.7

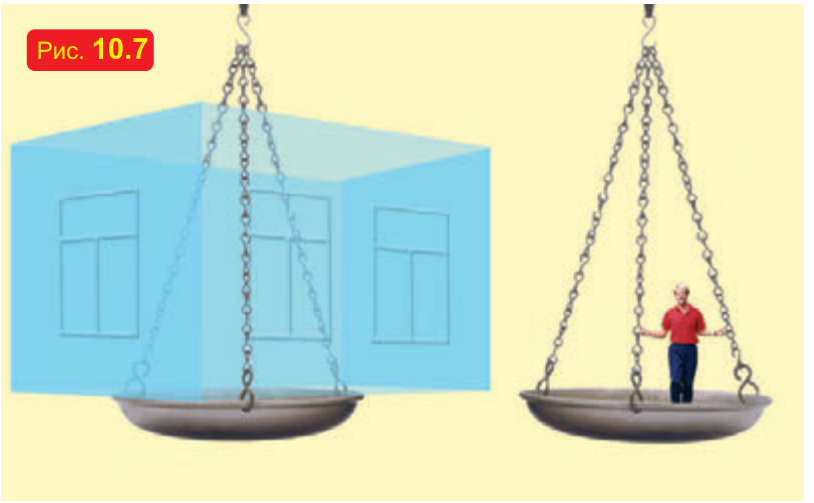
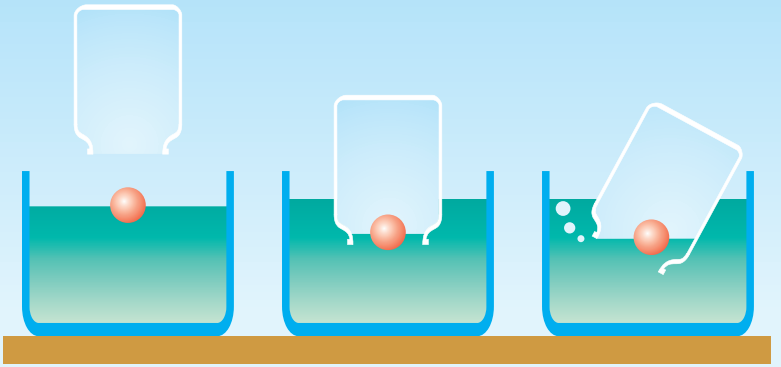


Рис. 10.8



Відмінна риса газів полягає в тому, що

газ займає весь наданий йому об'єм.

Саме тому, наприклад, м'яч, коли його надувають, наповнюється повітрям рівномірно по всьому об'єму.

Може виникнути запитання: якщо газ займає весь наданий йому об'єм, то чому атмосфера Землі не «розлітається»? Річ у тім, що атмосферу утримує досить велика сила притягання Землі. А от, наприклад, Місяць не «зміг» утримати свою атмосферу, бо його сила притягання набагато менша.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Покладіть слабко надуту повітряну кульку в каструлю й налийте в каструлю гарячу воду. Кулька надується, хоча маса повітря, що міститься в кульці, не збільшилася (рис. 10.9). Це можна пояснити тим, що

> гази під час нагріваня розширюються.

Унаслідок нагрівання на тисячу градусів об'єм газу збільшується в кілька разів! Здатність газу багаторазово збільшувати свій об'єм унаслідок нагрівання використовують у теплових двигунах: нагрітий газ штовхає поршень, рух якого передається, наприклад, колесам автомобіля.

Як ми побачимо далі, рідини та тверді тіла, нагріваючись, також розширюються, але значно менше, ніж гази.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Спробуйте стиснути руками який-небудь твердий предмет, скажімо, шматок дерева або цеглину. Навряд чи вам це вдасться. Вам не вдасться стиснути й шкіряний м'яч, повністю наповнений водою. А от слабко надутий м'яч або кулю стиснути дуже легко (рис. 10.10). Отже, на відміну від твердих і рідинних тіл,

> гази легкостисливі.

2. МОЛЕКУЛЯРНА БУДОВА ГАЗІВ

Стисливість газів можна пояснити тим, що молекули в газах розташовані не впритул. Наприклад, у повітрі навколо нас відстані між молекулами приблизно в 10 разів більші за розміри молекул. Молекулярну будову газу схематично показано на рис. 10.11.

Перебуваючи «далеко» одна від одної, молекули газів практично не взаємодіють між собою. Унаслідок зіткнень рух молекул носить ***хаотичний*** характер. Тому газ і заповнює весь наданий йому об'єм.

Рис. **10.9**

Рис. **10.10**

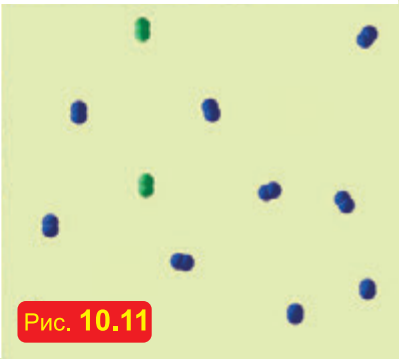


Рис. **10.11**

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які ви знаєте агрегатні стани речовини?
2. Які ви знаєте гази?
3. Які приклади підтверджують, що повітря тисне на навколишні тіла?
4. Як на досліді переконатися в тому, що «порожня» склянка наповнена повітрям?
5. Чому не можна наповнити газом тільки половину посудини, у якій немає перегородок?
6. Як поводяться гази під час нагрівання? Як і де це використовують?
7. Яку молекулярну будову мають гази?

§11 РІДИНИ

1. Властивості рідин
2. Молекулярна будова рідин
3. Густина речовини
Хочеш дізнатися більше?
Чому краплі кулясті?
Чому взимку ріки й озера не промерзають до дна?

1. ВЛАСТИВОСТІ РІДИН

Найпоширеніша на Землі рідина — вода, хоча, як ми побачимо, вона має деякі виняткові властивості.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Налийте воду в будь-яку посудину — вода «слухняно» набуде форми цієї посудини (рис. 11.1). Цей дослід свідчить, що

рідина набуває форми посудини, у якій вона перебуває.

Зумовлене це тим, що рідина має ***плинність***, тобто дуже легко змінює свою форму під дією зовнішніх сил. На рідину в посудині діє сила тяжіння й тиснуть стінки посудини — ось чому рідина й набуває форми посудини.

Але стверджувати, що «рідина не має своєї форми», усе-таки не можна! Ми розповімо про це в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Легко змінюючи свою форму, рідина в той самий час чинить значний опір стискові, тобто зменшенню об'єму.

Одного разу провели такий дослід. Товстостінну свинцеву сферу через невеликий отвір заповнили водою, запаяли отвір і піддали сферу дуже сильному стисканню. І що ж трапилось?

Вода не стиснулася, а просочилася крізь метал: на поверхні свинцевої сфери виступили краплі води!

Рис. **11.1**

Цей і подібні досліди свідчать, що

рідини мають малу стисливість.

Цим рідини суттєво відрізняються від легкостисливих газів.

Можна сказати, що рідина за своїми властивостями нагадує пісок: змінити форму піску дуже легко, але змінити об'єм даної маси піску — важко. Цю подібність рідини до піску, як ми незабаром побачимо, зумовлено молекулярною будовою рідини.

Об'єм рідини важко не тільки зменшити — його так само важко й збільшити. Інакше кажучи, ***рідина зберігає свій об'єм*** (за сталої температури). Тому на відміну від газу рідина не обов'язково займає ***весь*** об'єм посудини: наприклад, воду в склянку можна налити до половини (а ось наповнити склянку газом «до половини» неможливо).

На межі з повітрям рідина утворює ***вільну поверхню***.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Налийте в склянку воду до половини й повільно нахиліть склянку. Ви побачите, що поверхня води залишається ***горизонтальною***. Причиною цього є плинність рідини: під дією сили земного тяжіння вода прагне зайняти щонайнижче положення. Саме через це вода й виливається з нахиленої посудини (рис. 11.2).

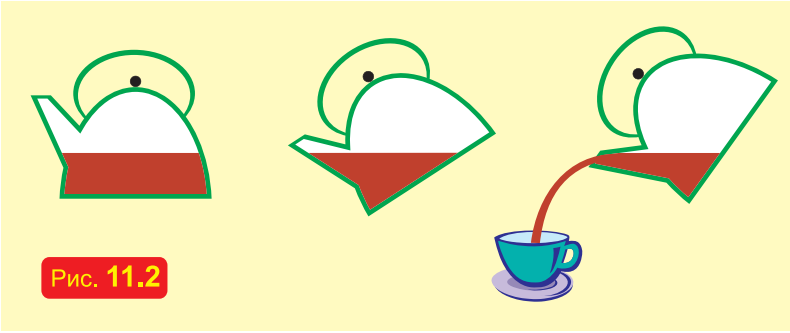


Рис. **11.2**

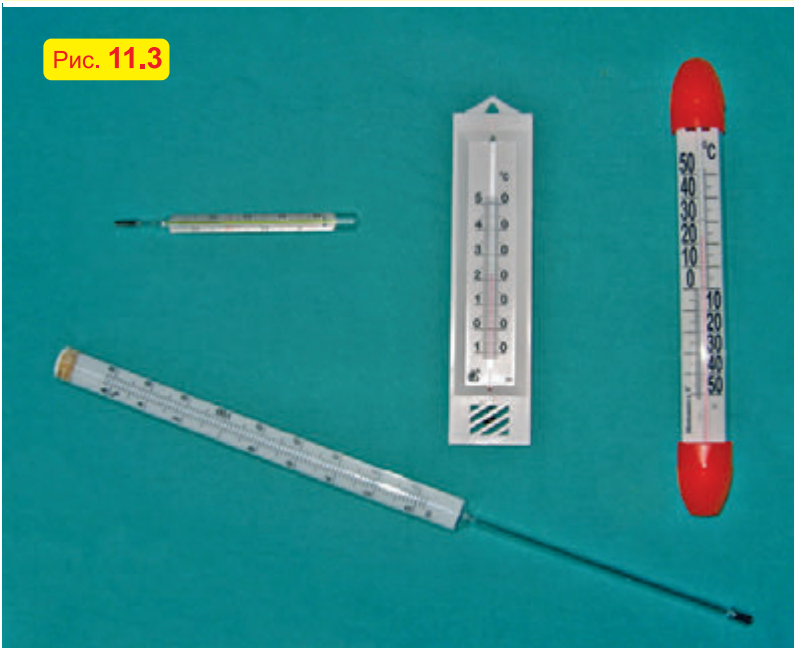


Рис. **11.3**

Унаслідок нагрівання рідини розширюються — значно менше, ніж гази, але значно більше, ніж тверді тіла.

Це використовують, зокрема, для виготовлення рідинних термометрів — приладів для вимірювання температури (рис. 11.3).

Оскільки рідина внаслідок нагрівання розширюється більше, ніж тверда «оболонка» термометра, висота стовпа рідини під час нагрівання збільшується. А щоб збільшення об'єму було помітніше, термометр побудовано так, що рідина піднімається всередині тонкої трубки.

Однак не всі рідини й не завжди внаслідок нагрівання розширюються! Важливим винятком є найпоширеніша на Землі рідина — вода. Про її «поведінку» під час нагрівання ми розповімо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

2. МОЛЕКУЛЯРНА БУДОВА РІДИН

Схематично розташування молекул у рідині показано на рис. 11.4.

Молекули в рідині розташовані впритул одна до одної, але в цьому розташуванні немає певного порядку.

Як ви бачите, розташування молекул у рідині нагадує розташування піщин у купі піску. Саме цим і зумовлено згадану вище подібність рідини до піску.

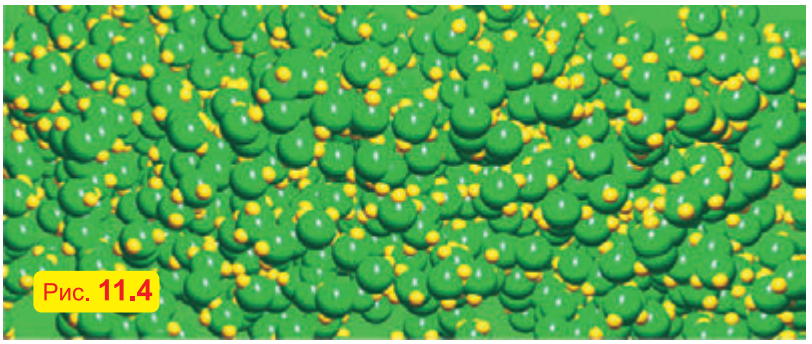


Рис. 11.4

Молекули рідини хаотично рухаються, однак їхній рух значно обмежують молекули-«сусіди». Тому рух молекул рідини нагадує рух людей у натовпі: молекули «штовха-

ються», час від часу міняючись місцями одна з одною. Саме ці «перескоки» й надають рідині ***плинності***. Коли на рідину діють зовнішні сили, «перескоки» молекул в одному напрямку відбуваються частіше, ніж в інших, у результаті чого форма рідини змінюється. Оскільки ці «перескоки» відбуваються дуже часто, форма рідини змінюється так швидко, що ми кажемо: рідина ***тече***.

3. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Тіла, що складаються з однакової речовини, можуть мати різну масу: наприклад, маса води в повному відрі приблизно в 50 разів більша за масу води в повній склянці. І об'єм води у відрі приблизно в 50 разів більший за об'єм води в склянці.

Для всіх тіл, що складаються з однакової речовини, ***відношення*** маси до об'єму однакове.

Відношення маси m однорідного зразка певної речовини до його об'єму V називають **густиною** ρ цієї речовини: $\rho = \frac{m}{V}$.

Густина є характеристикою речовини, а не конкретного тіла.

Одиницею густини в SI є 1 кг/м^3. Густина води складає 1000 кг/м^3, а густина повітря — приблизно 1,3 кг/м^3, тобто майже в 770 разів менша. Густина води набагато більша від густини повітря завдяки тому, що в рідині, на відміну від газу, молекули розташовано впритул.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЧОМУ КРАПЛІ КУЛЯСТІ?

Твердження, що рідина «не має своєї форми», а завжди набуває форми посудини, не завжди правильне.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Капніть водою на тарілку, змащену будь-яким жиром (наприклад, вершковим маслом або рослинною олією). Ви побачите, що краплі не розтікаються, а зберігають приблизно ***кулясту*** форму. Таку саму форму мають і крапельки роси на траві та листі

(рис. 11.5). Це зумовлено тим, що рідина прагне ***зменшити*** площу своєї поверхні, а з усіх тіл із заданим об'ємом найменшу площу поверхні має куля.

За «земних» умов сила тяжіння й тиск стінок посудини «примушують» рідину набувати форми посудини. Але для малої краплі основну роль відіграє намагання рідини зменшити площу своєї поверхні.

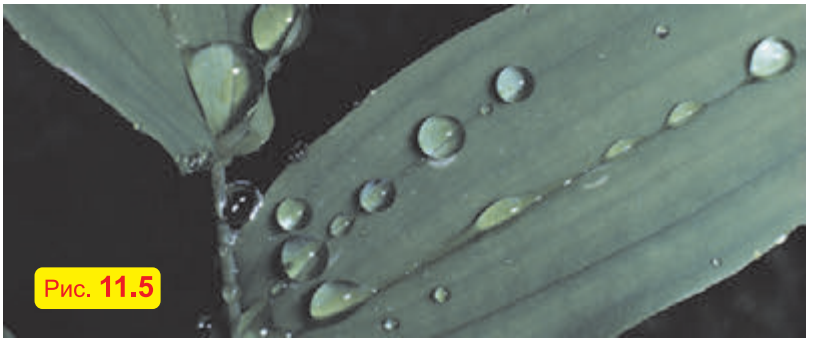


Рис. **11.5**

ЧОМУ ВЗИМКУ РІЧКИ Й ОЗЕРА НЕ ПРОМЕРЗАЮТЬ ДО ДНА?

Дивною властивістю води, що відрізняє її від інших рідин, є те, що під час нагрівання від 0 °С до 4 °С вода не розширюється, а ***стискується***, унаслідок чого густина води є максимальною за температури 4 °С. Завдяки цьому взимку «важка» вода з температурою 4 °С опускається на дно річок і озер. Ось чому річки та озера в середніх широтах рідко промерзають узимку до дна (якщо вони не занадто мілкі). А від цього радість не тільки рибам, а й рибалкам – шанувальникам підлідного лову.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які висновки щодо властивостей рідини можна зробити, наливаючи воду в різні посудини?
2. Чи легко змінити об'єм рідини? Наведіть приклади, що підтверджують вашу відповідь.
3. Яка властивість вільної поверхні рідини? Чим вона зумовлена?
4. Як поводиться рідина під час нагрівання? Завдяки чому можна виготовляти рідинні термометри?
5. Як розташовані молекули в рідині?
6. Чому краплі кулясті?

§12 ТВЕРДІ ТІЛА

1. Властивості твердих тіл
2. Кристали
3. Аморфні тіла
Хочеш дізнатися більше?
Чому графіт — м'який, а алмаз твердий?

1. ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ

Як ви вже знаєте,

тверді тіла зберігають об'єм і форму.

Тверді тіла значно різняться своїми властивостями. По-перше, вони відрізняються одне від одного ***твердістю***. Наприклад, добре відома м'якість графіту, з якого виготовляють стрижні олівців. Але є й «по-справжньому» тверді тіла, наприклад скло або чавун. «Чемпіоном» з твердості вважають алмаз: він залишає подряпини на будь-якому іншому тілі. Тому з алмазу виготовляють особливо тверді різальні інструменти.

По-друге, тверді тіла відрізняються одне від одного ***крихкістю***. Так, склянка — ***крихке*** тіло: удар її руйнує. А свинцевий брусок — ***пластичне*** тіло: унаслідок удару він лише змінює форму.

РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ УНАСЛІДОК НАГРІВАННЯ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Візьмемо металеві кулю й кільце, розміри яких підігнані так, що за однакової температури куля проходить крізь кільце майже без зазору (рис. 12.1).

Нагріємо кулю (рис. 12.2). Ми побачимо, що нагріта куля не проходить крізь кільце (рис. 12.3). Причиною цього є те, що

тверді тіла внаслідок нагрівання розширюються.

Рис. 12.1

Рис. 12.2

Рис. 12.3

Унаслідок нагрівання тверді тіла розширяються набагато менше, ніж рідини і гази. Наприклад, сталевий метровий стрижень унаслідок нагрівання на 1 °С подовжується приблизно на одну соту частку міліметра.

Однак якби будівельники й інженери не враховували теплового розширення матеріалів, наслідком цього було б руйнування будинків, мостів і доріг, а також обриви ліній електропередавання! Так, проліт моста внаслідок підвищення температури може подовжитися на кілька сантиметрів. І якщо не враховувати це під час будування моста, він може обрушитися. Ви, мабуть, помічали, що дроти ліній електропередавання помітно провисають, особливо влітку (рис. 12.4). Пояснити це провисання дуже просто: якби влітку дроти були натягнутими, то взимку вони просто порвалися б!

Рис. 12.4

2. КРИСТАЛИ

Є два типи твердих тіл — ***кристалічні*** та ***аморфні***. Розглянемо спочатку кристалічні тіла, які часто називають ***кристалами***.

Прикладами кристалів є знайомі вам кухонна сіль і цукор.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Розгляньте через збільшувальне скло кристалики солі або цукру: у них рівні, начебто спеціально зрізані, грані. Можна виростити й великий кристал: на рис. 12.5 зображено такий кристал солі. Дуже красиві грані у сніжинок (рис. 12.6), що є кристаликами льоду. Але якими б різноманітними не були сніжинки, в основі їхнього візерунка завжди лежить правильний шестикутник!

Правильна форма кристалів зумовлена тим, що

атоми або молекули в кристалах розташовані упорядковано, утворюючи **кристалічні ґратки**.

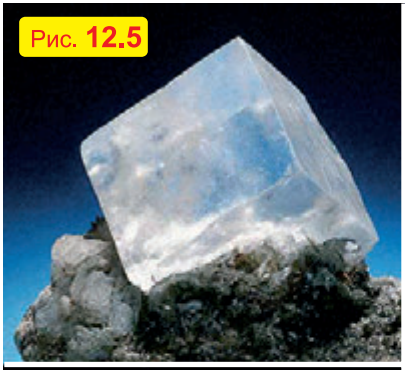


Рис. 12.5

Рис. 12.6

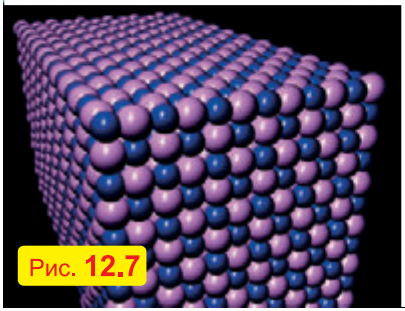


Рис. 12.7

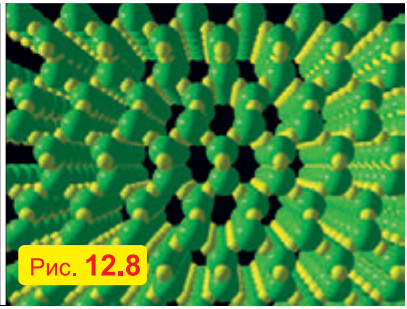


Рис. 12.8

Наприклад, у кристалі кухонної солі атоми Натрію та Хлору строго чергуються, розташовуючись у вершинах куба, — тому кристали солі й мають форму куба. А в кристалі льоду молекули води утворюють шестикутники — ось чому візерунок усіх сніжинок має шестикутний «каркас». На рис. 12.7 схематично зображено кристалічні ґратки кухонної солі, а на рис. 12.8 — кристалічні ґратки льоду.

3. АМОРФНІ ТІЛА

Аморфні тіла ви також бачите щодня: так, аморфними тілами є скляні предмети (рис. 12.9).

Аморфні тіла мають плинність, але значно меншу, ніж рідини. Плинність аморфних тіл зростає з підвищенням температури, завдяки чому, наприклад, із краплі нагрітого скла можна «видувати» скляні посудини подібно до того, як видувають мильні бульбашки. На рис. 12.10 зображено краплю «напіврідинного» скла.

Рис. 12.9

Рис. 12.10

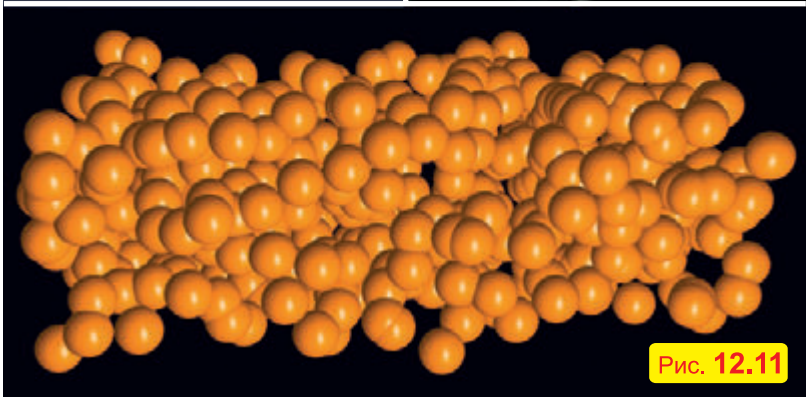


Рис. 12.11

Досліди свідчать, що скло має деяку плинність навіть за кімнатної температури. Це підтверджують, зокрема, спостереження за вікнами стародавніх будинків: шибки в них за багато років трохи «обпливли», потовщавши внизу.

Плинність аморфних тіл зумовлена тим, що

в аморфних тілах немає кристалічних ґраток.

На рис. 12.11 схематично зображено молекулярну будову аморфного тіла. Вона нагадує молекулярну будову рідини, тому аморфні тіла посідають проміжне положення між рідинами та кристалами.

Через відсутність кристалічної ґратки атоми або молекули в аморфних тілах час від часу «перескакують» з одного положення в інше.

Це й пояснює плинність аморфних тіл: коли на аморфне тіло діють зовнішні сили, «перескоки» молекул в одному напрямку відбуваються частіше, ніж в інших, у результаті чого форма тіла поступово змінюється[1].

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЧОМУ ГРАФІТ — М'ЯКИЙ, А АЛМАЗ ТВЕРДИЙ?

Властивості кристала залежать не тільки від типу атомів, а й від типу кристалічних ґраток.

Важко повірити, наприклад, що м'який чорний графіт, з якого зроблено стрижні олівців (рис. 12.12), і твердий прозорий алмаз (рис. 12.13) складаються з ***однакових*** атомів — атомів Карбону.

Чому ж тоді ці дві речовини так відрізняються за своїми властивостями?

Річ у тім, що кристалічні ґратки графіту мають шарувату структуру, причому сусідні шари слабко зв'язані один з одним (рис. 12.14). Тому шари легко відокремлюються один від одного, що й пояснює м'якість графіту.

[1] Тому такі тіла й називають аморфними: від грецького «аморфос» — що не має форми.

У кристалічних же ґратках алмазу всі атоми сильно зв'язані зі своїми найближчими сусідами (рис. 12.15). Саме цей жорсткий зв'язок атомів і зумовлює унікальну твердість алмазу.

Рис. 12.12

Рис. 12.13

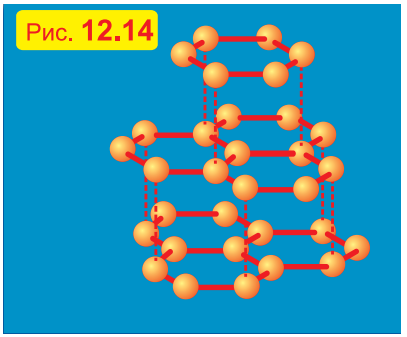


Рис. 12.14

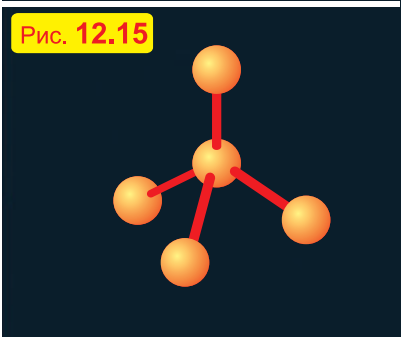


Рис. 12.15

РІДИННІ КРИСТАЛИ

У другій половині 20-го століття почали активно вивчати й застосовувати штучно створені речовини, які поєднують властивості рідин і кристалів. Їх назвали ***рідинними кристалами***[1].

Широке застосування рідинних кристалів зумовлено тим, що вони дуже чутливі до зміни зовнішніх умов: наприклад, навіть за невеликої зміни температури або тиску вони можуть змінювати свій колір. Завдяки цьому рідинні кристали широко застосовують у різних приладах — наприклад, у рідиннокристалових[2] медичних термометрах. Особливо широко застосовують рідинні кристали для виготовляння різних дисплеїв — від годинників і мобільних телефонів до комп'ютерів і телевізорів.

[1] Раніше їх називали рідкими кристалами.
[2] Раніше їх називали рідкокристалічними.

У розташуванні молекул рідинних кристалів є певна впорядкованість, тому ці речовини називають рідинними ***кристалами***. Але вони не мають кристалічних ґраток, тому ці речовини називають ***рідинними*** кристалами.

Наприклад, молекули рідинних кристалів часто мають витягнуту форму — довжина молекули може в десять і більше разів перевищувати її «товщину». Причому ці витягнуті молекули зорієнтовані однаково (наприклад, розташовані переважно вертикально), але центри молекул розташовані хаотично. На рис. 12.16 схематично зображено молекулярну будову такого рідинного кристала.

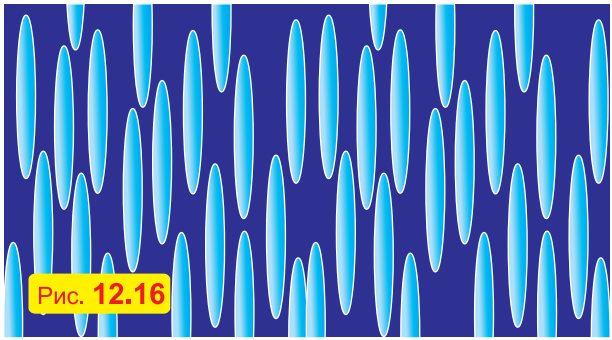


Рис. **12.16**

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які ви знаєте властивості твердих тіл? Наведіть приклади, що ілюструють відмінність властивостей твердих тіл.
2. Як поводяться тверді тіла під час нагрівання? Опишіть відповідні досліди та спостереження.
3. Що таке кристалічні тіла? Наведіть приклади кристалічних тіл.
4. Яку молекулярну структуру мають кристалічні тіла?
5. Наведіть приклади аморфних тіл. Чим вони відрізняються від кристалічних тіл?
6. Що спільного мають аморфні тіла й рідини?

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- Усі тіла навколо нас складаються з атомів.
- За атомну одиницю маси (а. о. м.) прийнято 1/12 маси атома Карбону.
- Молекули складаються з атомів.
- Властивості речовини визначає тип її молекул, тому молекула є найдрібнішою частинкою речовини.
- Характерною довжиною у світі атомів і молекул є 0,1 нм.
- Дослідним підтвердженням молекулярної будови речовини й хаотичного руху молекул є броунівський рух.
- З підвищенням температури швидкість хаотичного руху молекул збільшується.
- Дифузією називають взаємне проникнення частинок однієї речовини в іншу, спричинене рухом молекул. Дифузія є дослідним підтвердженням руху молекул.
- Молекули взаємодіють між собою: на дуже малих відстанях молекули відштовхуються, а на трохи більших — притягуються.
- Основні положення молекулярно-кінетичної теорії: 1) усі речовини складаються з крихітних частинок — атомів і молекул; 2) частинки речовини безперестанно та хаотично рухаються; 3) частинки речовини взаємодіють між собою.
- Речовина може перебувати в трьох станах: твердому, рідинному чи газоподібному. Ці стани речовини називають агрегатними станами.
- Газ займає весь наданий йому об’єм.
- Гази, нагріваючись, розширюються.
- Рідина набуває форми посудини, у якій вона перебуває. Причиною цього є плинність рідини.
- Рідини мають малу стисливість (зберігають свій об’єм).
- На межі з повітрям рідина утворює вільну поверхню.

- Молекули в рідині розташовано впритул, але в цьому розташуванні немає певного порядку.
- Густиною ρ речовини називають відношення маси m однорідного зразка певної речовини до об'єму цього зразка V, тобто $\rho = m/V$. Густина характеризує речовину, а не тіло.
- Тверді тіла зберігають об'єм і форму.
- Тверді тіла внаслідок нагрівання розширюються.
- Є два типи твердих тіл — кристалічні та аморфні.
- Атоми або молекули в кристалах розташовані упорядковано, утворюючи кристалічні ґратки.
- В аморфних тілах немає кристалічних ґраток. Молекулярна будова аморфного тіла нагадує молекулярну будову рідини.

розділ 3

СВІТЛОВІ ЯВИЩА

- Властивості й дії світла
- Джерела та приймачі світла
- Прямолінійність поширення світла
- Тінь і півтінь
- Відбиття світла
- Зображення в дзеркалі
- Заломлення світла
- Лінзи
- Око, фотоапарат і кіноапарат
- Помічники ока
- Дисперсія світла. Колір
- Сила світла й освітленість

§13 ВЛАСТИВОСТІ Й ДІЇ СВІТЛА

1. Найлегше, найшвидше й... наймогутніше!
2. Як світло діє на навколишні тіла?
3. Що нам дарує зір?
Хочеш дізнатися більше?
Як розвивались уявлення про природу світла?

1. НАЙЛЕГШЕ, НАЙШВИДШЕ Й... НАЙМОГУТНІШЕ!

Чи можна уявити собі що-небудь легше за світло? В англійській мові «світлий» і «легкий» навіть позначають одним словом «light».

Світло не тільки найлегше — воно ще й найшвидше! У порожнечі (вакуумі) й у повітрі світло поширюється зі швидкістю, що дорівнює близько 300 000 км/с. Ніщо на світі не може рухатися швидше, ніж світло. За одну секунду світло могло б «оббігти» навколо земної кулі майже вісім разів!

Природу світла вчені намагалися розгадати понад дві тисячі років, але змогли це зробити тільки у 20-му столітті. Виявилося, що світло має властивості як хвиль, так і частинок! Частинки світла назвали ***фотонами*** — від грецького слова «фотос», що означає «світло». Легше частинок світла дійсно нічого немає!

Учені встановили, що

світло є різновидом електромагнітного проміння[1].

Докладніше про природу світла розказано в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Хоча світло є найлегшим, практично вся енергія на Землі має своїм джерелом... сонячне світло!

[1] Потік електромагнітної енергії називають ***промінням***, а процес, за якого виникає цей потік, — ***випромінюванням***.

Гріючись під ласкавим сонцем, ми не уявляємо собі, яку величезну енергію несе сонячне світло. Протягом однієї години на площу, що дорівнює площі письмового столу, Сонце посилає енергію, якої вистачило б, щоб підняти декількох слонів на висоту багатоповерхового будинку (рис. 13.1)! І так година за годиною, мільярди років підряд...

Уявіть собі неосяжні простори лісів, ланів і океанів — і ви зрозумієте, яку величезну енергію несе на Землю сонячне світло.

Рис. 13.1

Завдяки сонячному світлові кілька мільярдів років тому на Землі з'явилося життя.

Енергія Сонця й сьогодні «годує» всі живі істоти нашої планети.

Перетворення енергії сонячного світла починаються в зеленому листі рослин, що стає їжею для тварин

(рис. 13.2). Люди вже давно навчилися користуватись енергією сонячного світла, накопиченою живими істотами сотні мільйонів років тому: адже викопне паливо — вугілля, нафта й газ — це залишки древніх рослин і тварин[1]. Отже, енергія, яку виробляють теплові електростанції, а також енергія, що рухає автомобілі, — це теж урешті-решт енергія сонячного світла!

2. ЯК СВІТЛО ДІЄ НА НАВКОЛИШНІ ТІЛА?

Найвідоміша дія світла — це, звичайно, ***освітлювання***. Але є й інші дії світла.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Піднесіть руку під настільну лампу, і ви відразу відчуєте тепло. Отже, світло не тільки освітлює тіла, а й ***нагріває*** їх.

Теплову дію світла спричинює те, що тіла поглинають світло. Унаслідок цього енергія, яку несе світло, частково перетворюється в енергію хаотичного руху молекул тіла. Темні тіла сильніше поглинають світло, ніж світлі, унаслідок чого світло й нагріває темні тіла сильніше. Ось чому влітку, особливо в спеку, зазвичай носять світлий одяг.

Нагрівання сонячним світлом породжує великий кругообіг води в природі, про який ми вже розповідали. Вода морів і океанів унаслідок нагрівання випаровується. Підіймаючись, пара охолоджується й перетворюється в крапельки води та кришталики льоду, з яких утворюються хмари. А потім із хмар іде дощ або сніг, і вода повертається в моря та океани (зокрема, за допомогою річок).

Могутні урагани та грози теж спричинені дією сонячного світла — нерівномірним нагріванням Сонцем поверхні Землі. І пори року змінюють одна одну через те, що Сонце взимку й улітку не однаково нагріває Північну й Південну півкулі Землі.

Світло має ***хімічну*** дію, тобто спричиняє перетворення молекул — хімічні реакції.

---

[1] Один з геологічних періодів, протягом якого формувалося викопне паливо, так і називають — ***кам'яновугільним***.

Найважливіші для життя на Землі хімічні реакції — ті, що відбуваються в листі рослин під дією сонячного світла. Їх називають ***фотосинтезом*** (від грецьких слів «фотос» — світло та «синтезис» — з'єднання, складання). Хімічну дію світла використовують у фотографії: зображення на фотоплівці й фотопапері виникає внаслідок хімічних реакцій, що відбуваються під дією світла.

Світло має й ***електричну*** дію: унаслідок освітлення з речовини можуть вилітати електрони, у результаті чого виникає електричний струм. Це використовують, наприклад, у цифрових фотоапаратах і в телебаченні для передавання зображень. Ми розповімо про це далі.

Отже,

> світло освітлює та нагріває, а також може спричинювати хімічні реакції та електричний струм.

3. ЩО НАМ ДАРУЄ ЗІР?

Світло «годує» і розум, і серце: ранок радує нас ніжними барвами світанку, під сонячним світлом удень ми вчимося та працюємо, а ввечері хтось читає під лампою, а хтось дивиться телевізор (рис. 13.3).

Дослідження свідчать, що

> понад 90 % усієї інформації про навколишній світ ми одержуємо завдяки зору.

Отже, на слух, дотик, нюх і смак разом припадає принаймні в 10 разів менше, ніж на зір!

Зір дарує можливість митцям створювати шедеври мистецтва — книжки, картини та кінофільми, а нам — долучатися до цієї творчості.

Завдяки зору ми бачимо далекі планети та найвіддаленіші зорі. Допомагає в цьому людському окові телескоп[1] — прилад, який у сотні й тисячі разів «наближає» віддалені предмети.

[1] Від грецьких слів «теле» — далеко і «скопео» — спостерігаю, розглядаю.

За допомогою зору людина довідалася про клітинну будову живих організмів і про найдрібніші живі істоти — бактерії. Це стало можливим завдяки мікроскопу[1] — приладу, який дозволяє одержати більш ніж тисячократне збільшення. Утім, як ви вже знаєте, сьогодні є мікроскопи, за допомогою яких можна побачити навіть атоми!

Рис. 13.3

[1] Від грецьких слів «мікрос» — малий і «скопео» — спостерігаю, розглядаю.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК РОЗВИВАЛИСЬ УЯВЛЕННЯ ПРО ПРИРОДУ СВІТЛА?

Світло стало для вчених одним з найміцніших «горішків»: його називали навіть «найтемнішою плямою» у фізиці! Дійсно, світло разюче відрізняється від уже знайомих вам фізичних тіл. Як ви знаєте, кожне фізичне тіло має масу, об'єм, розміри, температуру. Але чи можна застосовувати всі ці поняття до світла?

У 17-му столітті великий англійський учений Ісак Ньютон припустив, що світло є потоком дуже дрібних частинок. Теорію Ньютона назвали корпускулярною теорією світла (у перекладі з латини «корпускулум» — частинка). Приблизно в той же час голландський учений Хрістіан Гюйгенс створив хвильову теорію світла, згідно з якою світло поширюється у формі хвиль — подібно звукові в повітрі або хвилям на воді. Протягом декількох століть представники корпускулярної та хвильової теорій світла вели запеклі суперечки про природу світла.

Установити природу світла вдалося тільки в першій половині 20-го століття: виявилося, що світло ***поєднує*** в собі як властивості частинок, так і властивості хвиль! Так природа «поєднала» те, що вченим довгий час здавалося несумісним. Тепер установлено, що світло має ***електромагнітну природу***. Це означає, що радіохвилі, які приймає мобільний телефон або телевізор, мають таку саму фізичну природу, що й видиме світло. Докладніше ви довідаєтеся про це з курсу фізики старших класів.

А зараз скажемо тільки, що масивні тіла притягують світло: наприклад, астрономи встановили, що внаслідок притягання до Сонця промені світла, які йдуть до нас від далеких зір, трохи викривляються, завдяки чому видиме положення зір на небі змінюється.

У 20-му столітті вчені відкрили, що є космічні тіла, притягання яких настільки величезне, що навіть світло не може «вирватися» назовні! Ці масивні космічні об'єкти назвали «чорними дірами». Вони невидимі, оскільки світло не може перебороти їхнього притягання, однак їх можна виявити завдяки їхньому впливові на навколишні зорі. На рис. 13.4 схематично показано, як чорна діра «втягує в себе» зоряну речовину розташованої поблизу зорі. Подібна чорна діра є також у центральній частині нашої Галактики. Але нам вона ніяк не загрожує!

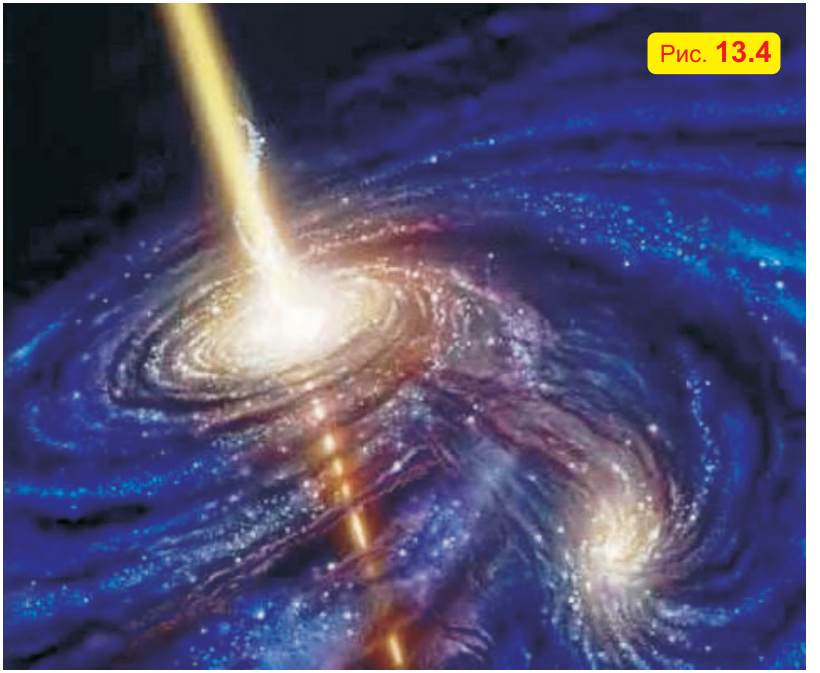


Рис. 13.4

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чи несе світло енергію? Обґрунтуйте свою відповідь.
2. Яке походження енергії, накопиченої у вугіллі та нафті?
3. Як світло діє на навколишні тіла?
4. Наведіть приклади теплової дії світла, не згадані в тексті.
5. Які ви знаєте приклади хімічної дії світла?
6. Покладіть руку під увімкнену настільну лампу. Які дії світла ви можете спостерігати та відчувати при цьому?

§14 ДЖЕРЕЛА ТА ПРИЙМАЧІ СВІТЛА

1. Джерела світла
2. Приймачі світла
Хочеш дізнатися більше?
Світіння живих організмів
Невидиме проміння

1. ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

Джерелами світла називають тіла, що випромінюють світло.

ТЕПЛОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Візьміть щипцями цвях і потримайте його над полум'ям газової плити. Цвях незабаром розжариться до червоного, тобто стане ***джерелом світла***. Якщо нагріти цвях сильніше (для цього потрібен спеціальний пальник), світіння стане жовтогарячим: з підвищенням температури тіла колір випромінюваного ним світла змінюється від червоного до блакитного. Дослід свідчить, що ***всі*** достатньо нагріті тіла випромінюють світло.

Нагріті тіла, що випромінюють світло, називають **тепловими джерелами світла**.

Найважливіше для нас, землян, теплове джерело світла — це сліпуче яскраве Сонце (рис. 14.1). Температура його поверхні, розпеченої до білого, сягає близько 6 тисяч градусів! Усі відомі нам на сьогодні речовини за такої температури перетворюються в газ. І Сонце дійсно є колосальною розпеченою газовою кулею — діаметр Сонця більше ніж у 100 разів перевищує діаметр Землі. У надрах Сонця температура сягає 15 мільйонів градусів, тобто в тисячі разів більше, ніж на його поверхні!

Перше «приручене людиною» джерело світла було саме тепловим — це було полум'я первісного багаття (рис. 14.2).

На зміну полум'ю багаття прийшло полум'я свічки, а потім — гасової лампи. Світло полум'я створюється переважно світінням розпечених частиночок сажі.

Тепловими джерелами світла є також лампи розжарювання, що сяють у ваших будинках і сьогодні: електричний струм нагріває нитку лампи до білого.

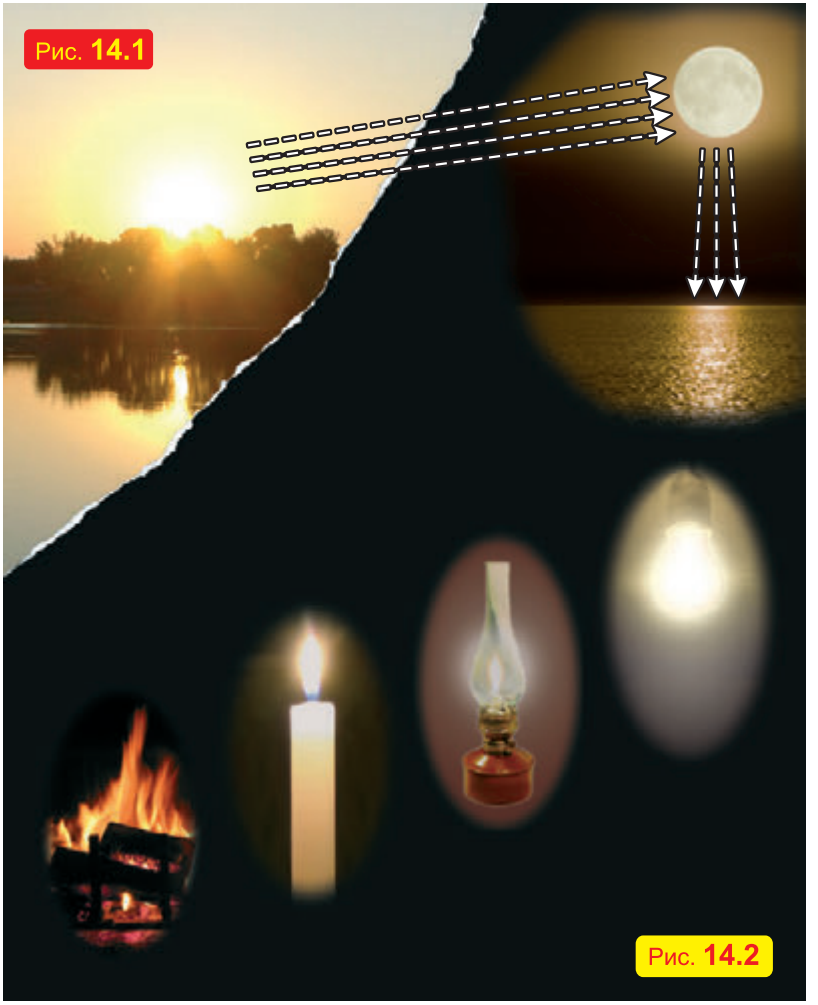


Рис. **14.1**

Рис. **14.2**

Подібними до Сонця тепловими джерелами світла є всі зорі. Вони здаються нам незрівнянно менш яскравими за Сонце тільки тому, що розташовані в сотні тисяч і навіть мільйони разів далі.

Неозброєному оку всі зорі можуть здаватись однакового кольору, але в телескоп добре видно, що серед них є червонуваті, жовті, білі й блакитнуваті. Як ви здогадалися, колір зорі залежить від температури її поверхні: менш гарячі зорі червонуваті, а найгарячіші — блакитнуваті.

Однак не всі «небесні світила» є джерелами світла: так, холодний Місяць не світить сам, а тільки ***відбиває*** світло Сонця. Відбивають сонячне світло й планети, найяскравіші з яких — Венера та Юпітер. Ви їх часто-густо спостерігаєте на зоряному небі, але, мабуть, помилково вважаєте дуже яскравими зорями.

ЧОМУ НАГРІТІ ТІЛА СВІТЯТЬСЯ?

Світло випромінюють частинки, з яких складається речовина, тобто молекули та атоми, коли вони перебувають, як кажуть фізики, у збудженому стані, тобто мають певний «надлишок» енергії. Цю «надлишкову» енергію частинки виділяють, випромінюючи світло — електромагнітні хвилі (або частинки світла, фотони — що теж правильно внаслідок двоїстої природи світла).

Енергію, потрібну для випромінювання світла, частинки речовини можуть отримувати, наприклад, унаслідок зіткнень між собою.

Як ви вже знаєте, у разі збільшення температури збільшується інтенсивність теплового хаотичного руху атомів і молекул. І коли температура тіла стає досить високою, атоми та молекули внаслідок зіткнень переходять у збуджений стан і починають випромінювати світло.

ХОЛОДНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

Холодні джерела світла — це тіла, що світяться за температури, близької до кімнатної.

Наприклад, екран телевізора, дисплей комп'ютера або мобільного телефону помітно світяться, хоча вони й не нагріті (рис. 14.3).

Холодними джерелами світла є також лампи денного світла.

Рис. 14.3

Рис. 14.4

Є навіть світні живі організми! Усі вони, зрозуміло, також є «холодними» джерелами світла. Так, літньою ніччю в лісі можна побачити, як «переморгуються» світлячки. Світяться також деякі глибоководні риби (рис. 14.4).

Про ці світні організми ми ще розповімо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Світіння холодних джерел світла також спричинено випромінюванням атомів і молекул, що перебувають у збудженому стані.

Однак у холодних джерелах світла атоми та молекули переходять у збуджений стан не завдяки зіткненням під час теплового хаотичного руху, а внаслідок інших процесів (зокрема, хімічних реакцій).

Рис. **14.5**

ПРИРОДНІ Й ШТУЧНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

Сонце, блискавка або світлячки випромінюють світло без участі людини. Такі джерела світла, створені самою природою, називають ***природними***.

Сьогодні люди вже створили багато джерел світла, які називають ***штучними***.

На рис. 14.5 зображено приклади штучних джерел світла. Їхню роль в історії людства важко переоцінити.

Уже перше штучне джерело світла, багаття, ознаменувало початок власне «людської» історії. Одним із найулюбленіших героїв давньогрецьких міфів був титан Прометей, який викрав вогонь у богів і подарував його людям.

Винахід електричної лампи наприкінці 19-го століття разюче змінив вигляд наших будинків і вулиць міст.

Сьогодні вчені та інженери створюють досконалі штучні джерела світла — економічні та комфортні.

Природні джерела світла — це джерела, які створила сама природа. **Штучні джерела світла** створили люди.

2. ПРИЙМАЧІ СВІТЛА

Приймачами світла називають тіла та пристрої, у яких під дією світла, що падає на них, відбуваються помітні зміни.

Найважливішим для нас приймачем світла є, звичайно, око. Коли світло попадає на сітківку, що встеляє очне дно, воно спричиняє складні реакції, у результаті чого ми бачимо навколишній світ.

Про будову ока буде розказано в *§ 21. Око. Фотоапарат і кіноапарат*.

Головним для всього живого приймачем світла є зелене листя рослини: нагадаємо, що цей «приймач світла» годує все живе на Землі.

Людина створила багато приймачів світла. Це, наприклад, світлочутливі плівка та папір, які довгий час використовували у фотографії. Останніми десятиліттями великого поширення набули фотоелементи — прилади, у яких світло перетворюється в електричний сигнал, завдяки чому, наприклад, зображення можна передавати на відстань за допомогою радіохвиль або кабелю. На цьому ґрунтується дія телебачення.

Фотоелементи застосовують у турнікетах метро, запобіжних пристроях на виробництві, а також для зчитування зображення або звуку з компакт-дисків.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

СВІТІННЯ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ

«Компанія» світних організмів надзвичайно різноманітна: серед них є водорості, бактерії, гриби, молюски, комахи, восьминоги, кальмари, медузи та риби. У нічному лісі таємниче світяться старі пні («гниляки»): це світіння спричинюють мікроорганізми, що мешкають у них.

Світіння живих організмів (рис. 14.6) спричинено не їхньою високою температурою, а складними хімічними реакціями.

Світіння організмів зовсім не «пуста забава» для цих організмів: учені давно встановили, що всі «здібності» живих істот сформувалися в них у процесі еволюції, бо мали для них життєво важливе значення. Світіння допомагає живим істотам спілкуватися, полювати й лякати хижаків. Часто-густо світіння використовують для того, щоб приманювати здобич. Наприклад, у глибоководної риби, яку називають «морський чорт», перед ротом висить «ліхтарик», світло якого приманює жертви. Мабуть, завдяки цьому риба й отримала свою «страшну» назву.

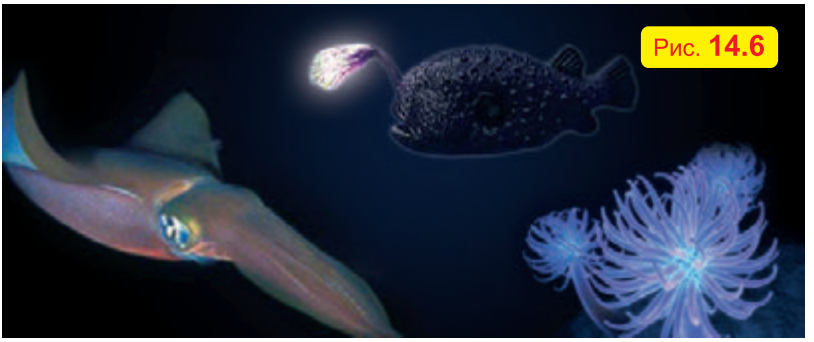


Рис. **14.6**

НЕВИДИМЕ ПРОМІННЯ

Як установили вчені, джерелами електромагнітного проміння є будь-які тіла, зокрема ті, що не випромінюють видимого світла. Піднесіть руку до гарячого чайника (не торкаючись його!) — ви відчуєте тепло, що йде від чайника. Це — невидиме електромагнітне проміння, назване «інфрачервоним». Інфрачервоне проміння широко використовують у техніці: наприклад, пульт дистанційного керування посилає сигнали телевізорові саме за

допомогою інфрачервоного проміння. Завдяки цьому промінню стало можливим і нічне фотографування.

Невидимим, тобто таким, що його не сприймає людське око, є також ультрафіолетове проміння — те саме, яке прикрашає нас засмагою. Ультрафіолетове проміння потрібне для повноцінного розвитку, і тому дітям дуже важливо бувати на відкритому повітрі, оскільки прозорі для видимого світла вікна не пропускають ультрафіолетового проміння.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке джерела світла?
2. Які ви знаєте теплові джерела світла?
3. Чому зорі відрізняються кольором? Який колір мають найгарячіші зорі?
4. Чи всі «небесні світила» є джерелами світла? Обґрунтуйте вашу відповідь.
5. Чому нагріті тіла світяться?
6. Які ви знаєте холодні джерела світла?
7. Наведіть приклади природних і штучних джерел світла.
8. Які ви знаєте приймачі світла?

§ 15 ПРЯМОЛІНІЙНІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА

1. Світлові пучки та світлові промені
2. Точкові та протяжні джерела світла
3. Прямолінійність поширення світла
Хочеш дізнатися більше?
Як вимірили швидкість світла?

1. СВІТЛОВІ ПУЧКИ ТА СВІТЛОВІ ПРОМЕНІ

Ви, звичайно, бачили пучки сонячного світла, що пробиваються крізь хмари або в просвіти між деревами (рис. 15.1). Подібні пучки світла випромінюють прожектори або автомобільні фари (рис. 15.2).

Чи не дивує вас, що ми бачимо пучки світла збоку? Адже бачити ми можемо тільки світло, що потрапляє в очі!

Річ у тім, що, дивлячись на пучки світла збоку, ми бачимо не самі пучки, а освітлені ними завислі у повітрі порошини та крапельки води: вони відбивають нам в очі світло, що падає на них.

Тому, щоб пучок світла було видно краще, бажано затемнити приміщення та «задимити» або «запилити» повітря. На рис. 15.3 зображено відбиття від дзеркала вузького пучка світла лазерного ліхтарика.

Пучок світла можна зробити доволі вузьким, якщо пропускати світло крізь малий отвір. Щоб одержати такий пучок світла, можна, наприклад, помістити лампу в ящик, у якому зроблено малий отвір (рис. 15.4).

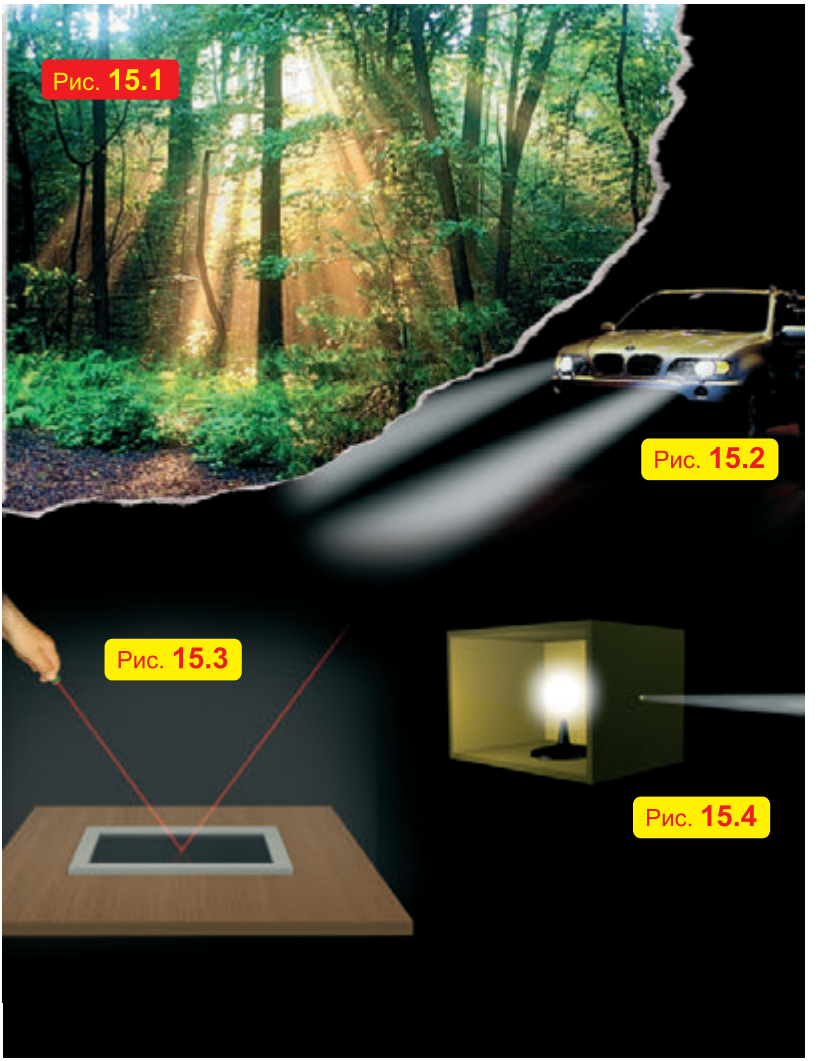
Фізичною моделлю вузького пучка світла є ***промінь світла***[1].

Промінь світла — це лінія, уздовж якої поширюється світло.

[1] Отримати «нескінченно тонкий» пучок світла неможливо. Зумовлено це хвильовою природою світла. Детальніше про це буде розказано в курсі фізики старших класів.

Хід променів[1] світла часто знаходять за допомогою геометричної побудови, тому

частину оптики, яка вивчає хід променів світла, називають **геометричною оптикою**.



[1] Треба розрізняти поняття «***промінь***» (множина – ***промені***) і введене вище поняття «***проміння***».

2. ТОЧКОВІ ТА ПРОТЯЖНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

Джерело світла, розмірами якого за конкретних умов можна знехтувати, називають **точковим джерелом світла**.

Точковими джерелами світла для нас є, наприклад, зорі (рис. 15.5).

Рис. **15.5**

Рис. **15.6**

Точкове джерело світла є ***фізичною моделлю*** джерела світла, відстань до якого в багато разів більша, ніж розміри джерела.

Джерела світла, які не можна вважати точковими, називають **протяжними**.

Прикладами таких джерел є лампи денного світла, а також світлові реклами, коли ми розглядаємо їх з відстані, порівнянної з їхніми розмірами (рис. 15.6). Але й зоря може бути протяжним джерелом світла — саме такою зорею для нас, землян, є Сонце. Як ми побачимо

далі, під час розглядання сонячних затемнень, ми не можемо вважати Сонце точковим джерелом світла.

3. ПРЯМОЛІНІЙНІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА

Як свідчить дослід,

> світло в порожнечі (вакуумі) або однорідному середовищі поширюється прямолінійно.

Саме через це частини прямої, на які її розбиває точка, у геометрії також називають променями.

Однак у неоднорідному середовищі промені світла викривляються, завдяки чому, наприклад, виникають міражі. Про це ми розповімо далі.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Фізичною моделлю прямолінійного відрізка може бути туго натягнута нитка. Погляньте ***вздовж*** такої нитки: вона перетвориться в точку. А це й означає, що промені світла йдуть уздовж нитки, тобто по прямій.

Рис. **15.7**

Прямолінійність поширення світла часто використовують, щоб перевірити прямолінійність лінійки або бруска (рис. 15.7). З прямолінійністю поширення світла були добре обізнані стародавні будівельники: уже в Стародавньому Єгипті цю властивість світла використовували, щоб перевіряти прямолінійність під час будування доріг та пірамід.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК ВИМІРИЛИ ШВИДКІСТЬ СВІТЛА?

Першу спробу виміряти швидкість світла здійснив Ґалілео Ґалілей на початку 17-го століття. Він хотів виміряти проміжок часу, потрібний світлу для того, щоб пройти від вершини однієї гори до вершини другої та, відбившись там від дзеркала, повернутися назад. Але цей проміжок часу виявився настільки малим, що виміряти його Ґалілею не вдалося. Сьогодні, коли ми вже знаємо, що швидкість світла становить близько 300 000 км/с, легко підрахувати, що всього за «одну мить», тобто час миготіння оком (близько 0,1 с), світло встигло би обігнути майже всю земну кулю! А Ґалілей міг користуватися тільки водяним годинником, який не забезпечував потрібної точності.

Уперше виміряв швидкість світла в другій половині 17-го століття данський астроном Оле Ремер. Протягом декількох років він спостерігав рух одного із супутників Юпітера — найбільшої планети Сонячної системи. Цей супутник було добре видно в телескоп, коли він виходив з тіні величезного Юпітера. На рис. 15.8 ви бачите Юпітер та його супутник (світлий малий кружок праворуч).

Ремер помітив, що протягом однієї половини земного року період обертання супутника чомусь поступово збільшується, а протягом другої — знову зменшується до попередньої величини. І Ремер здогадався, у чому річ!

Близько півроку Земля віддаляється від Юпітера, а потім близько півроку — наближається. Коли Земля віддаляється від Юпітера, світлу доводиться щоразу пролітати більшу відстань, щоб «повідомити» земного астронома про чергову появу супутника з тіні Юпітера. Ось астрономові й здається, що кожна нова поява супутника відбувається трохи пізніше від «призначеного терміну»! Зате протягом наступної половини року, коли Земля наближається до Юпітера, супутник починає виходити з тіні Юпітера з дедалі більшим «випередженням», оскільки світлу щоразу потрібно проходити меншу відстань.

Вимірявши відповідні «запізнення» й «випередження» в появі супутника з тіні Юпітера, Ремер зміг обчислити швидкість світла. За його розрахунками вона становила близько двохсот тисяч кілометрів за секунду, тобто в півтора раза менше, ніж показали проведені пізніше точніші виміри.

Рис. 15.8

Виконали їх незалежно один від одного в середині 19-го століття французькі фізики Жан Фуко й Арман Фізо[1]. Вони, як і Ґалілей, вимірювали проміжок часу, протягом якого світло «пробігало туди й назад» на відстань у кілька кілометрів. Цей дуже малий проміжок часу вчені виміряли за допомогою пристроїв, які не можна було побудувати за часів Ґалілея: Фуко скористався швидкообертовою дзеркальною призмою, а Фізо — швидкообертовим зубчастим колесом.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Як поширюється світло в порожнечі та в однорідному середовищі? Які спостереження й досліди підтверджують вашу відповідь?
2. Завдяки чому можна побачити пучок світла збоку?
3. Що таке промінь світла?
4. Що вивчає геометрична оптика?
5. Наведіть приклади точкових і протяжних джерел світла.
6. Чи можна те саме джерело світла розглядати як точкове і як протяжне? Обґрунтуйте вашу відповідь прикладами.
7. Чому дорівнює швидкість світла в порожнечі (вакуумі)?

[1] Ці вчені зі схожими прізвищами не тільки виміряли швидкість світла практично одночасно та незалежно один від одного — вони й народилися в одному місті (Парижі) з різницею всього в 5 днів!

§16 ТІНЬ І ПІВТІНЬ

1. Тінь і півтінь
2. Сонячні та місячні затемнення
Хочеш дізнатися більше?
За якого освітлення немає тіней?
Деякі затемнення в минулому

1. ТІНЬ І ПІВТІНЬ

Усім добре знайомі тіні предметів (рис. 16.1).

Форма тіні нагадує форму предмета, тому до винаходу фотографії часто-густо робили так звані портрети-силуети, обводячи тінь голови, освітленої збоку.

Рис. 16.1

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Освітимо невеликий предмет з відстані кількох метрів маленькою лампочкою. Ми помітимо, що тінь від предмета буде чіткою (з різкими краями). Отже, коли на предмет падає світло від джерела, яке можна вважати ***точковим***, утворюється чітка тінь.

Наприклад, у точку *A* екрана на рис. 16.2 світло від точкового джерела не попадає ***зовсім*** — тому тут область тіні. А в точку *B* попадає світло від ***усього*** джерела — тому тут область світла.

Картина стає набагато цікавішою, якщо ми освітимо предмет ***двома*** точковими джерелами світла.

Для наочності візьмемо джерела світла різних кольорів — жовтого й синього (рис. 16.3). Тоді на екрані ми побачимо:

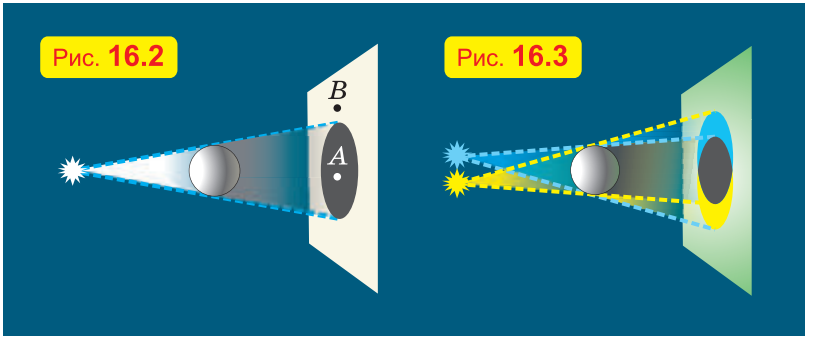
1) область, куди не попадає світло ***від жодного*** джерела;

2) дві області, у які попадає світло тільки від ***одного*** з джерел;

3) область, куди попадає світло від ***обох*** джерел[1].

Частково освітлену область (площини або простору) називають **півтінню**.

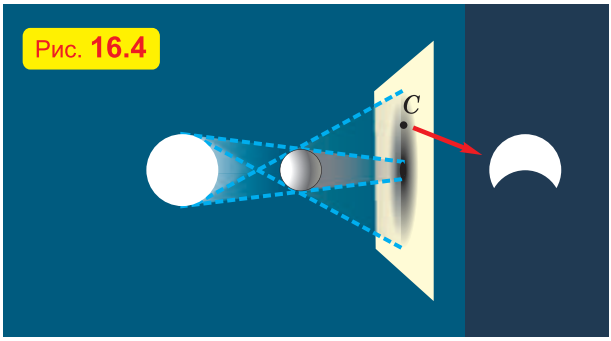
У нашому досліді півтіні — це синя та жовта області на рис. 16.3.



[1] Чому внаслідок «змішування» синього та жовтого світла утворюється зелене, ми розглянемо в *§ 23. Дисперсія світла. Колір.*

На рис. 16.4 зображено утворення тіні й півтіні у разі освітлення непрозорої кулі кулястим джерелом світла (ним може бути лампа під плафоном). Півтінь буде в тих точках, з яких протяжне джерело світла видно ***частково***: праворуч на рисунку показано, яким видно джерело світла з точки C, розташованої в області півтіні.

Освітлення може бути й таким, що тіні немає взагалі, а є тільки півтіні. У розділі «Хочеш дізнатися більше?» ми розповімо про так звані «безтіньові» лампи, тобто лампи, що не дають тіні.

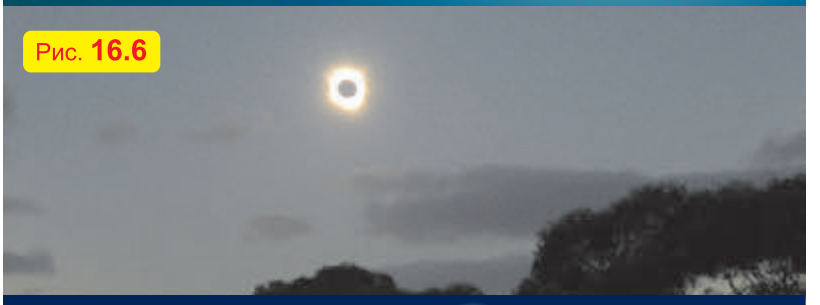


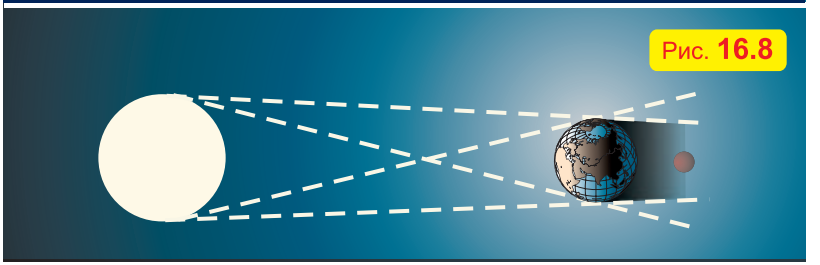
2. СОНЯЧНІ ТА МІСЯЧНІ ЗАТЕМНЕННЯ

Величні приклади утворення тіні та півтіні являють собою сонячні й місячні затемнення.

Сонячні затемнення настають тоді, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею: завдяки цьому утворюються тінь і півтінь. На рис. 16.5 наведено схему сонячного затемнення (для наочності масштабу не дотримано). У тих точках земної поверхні, де Місяць повністю заслоняє Сонце, спостерігають повне сонячне затемнення (рис. 16.6). На рис. 16.7 схематично зображено різні фази повного сонячного затемнення.

Навколо області повної тіні на поверхні Землі розташовано кільце півтіні — у цих точках земної поверхні спостерігають ***часткове сонячне затемнення***: Місяць лише частково закриває Сонце. Наявність півтіні під час сонячного затемнення означає, що ми не можемо вважати Сонце точковим джерелом світла, хоча відстань до нього більше ніж у 100 разів перевищує його діаметр!





Місячне затемнення спостерігають тоді, коли Місяць попадає в тінь Землі (рис. 16.8). Придивившись, можна помітити, що Місяць при цьому не зникає зовсім, а стає диском темно-червоного кольору. Спричинено це тим, що, проходячи крізь атмосферу Землі, сонячні промені трохи викривляються, унаслідок чого невелика їхня частина все-таки потрапляє на поверхню Місяця.

У давнину сонячні затемнення, що раптово наставали серед білого дня, викликали в людей жах. Лякали людей

і місячні затемнення, коли серед ночі швидко зникав повний місяць: адже місячні затемнення відбуваються завжди під час повні[1].

Астрономи навчилися з великою точністю розраховувати час затемнень — не тільки майбутніх, а й минулих — на століття і навіть тисячоліття. Завдяки цьому вдається уточнити час важливих історичних подій у минулому. Деякі цікаві приклади ми наведемо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЗА ЯКОГО ОСВІТЛЕННЯ НЕМАЄ ТІНЕЙ?

Під час хірургічної операції руки хірурга мають не давати тіні, оскільки тінь дуже заважала б проведенню операції. Тому для освітлювання операційних розробили спеціальні безтіньові лампи.

Ці лампи розташовують над операційним столом так, що навіть у разі, коли руки хірурга заслоняють світло одних ламп, інші лампи добре освітлюють «операційне поле» (рис. 16.9). Отже, «безтіньові» лампи є протяжними джерелами світла, під час освітлювання якими є тільки півтінь.

Рис. 16.9

ДЕЯКІ ЗАТЕМНЕННЯ В МИНУЛОМУ

Давньогрецький історик Геродот розповідає, що давньогрецький учений Фалес спромігся передбачити сонячне затемнення, за що греки надали Фалесу звання наймудрішого з мудріших.

[1] Цю фазу Місяця називають також повним місяцем.

Сучасні розрахунки затемнень дозволили встановити, що передбачене Фалесом затемнення відбулося 28 травня 585 року до н. е. Завдяки цьому вдалося встановити точну дату однієї з важливих битв стародавності. Воїни злякалися раптової темряви й припинили бій. Так завдяки сонячному затемненню після п'ятирічної війни було укладено перемир'я!

А майже через 170 років після цього місячне затемнення допомогло жителям давньогрецького міста Сіракузи знищити афінське військо. Тоді після невдалої облоги Сіракуз афіняни вирішили зняти облогу і вночі, скориставшись повним місяцем, стали сідати на кораблі. Але саме в ту ніч відбулося місячне затемнення! Афіняни сприйняли це як лиховісне знамення. Серед солдатів виникла паніка, і через це афінське військо було розбито воїнами Сіракуз (які, напевно, були менше схильні до марновірства).

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому форма тіні предмета нагадує форму цього предмета?
2. У якому випадку тінь від предмета буде чіткою?
3. У якому випадку утворюється півтінь? Наведіть приклади утворення півтіні.
4. За якої умови відбувається повне сонячне затемнення? Часткове?
5. Чому під час повного сонячного затемнення Місяць може повністю закрити Сонце, хоча Місяць у багато разів менший від Сонця?
6. За якої умови відбувається місячне затемнення? Чи здогадалися ви, чому воно відбувається тільки під час повні?
7. Як створити освітлення, за якого не виникає тіней? Наведіть приклад такого освітлення.

§ 17 ВІДБИТТЯ СВІТЛА

1. Чому ми бачимо предмети?
2. Дзеркальне відбиття
3. Розсіяне відбиття
Хочеш дізнатися більше?
Світло «вибирає» найкоротший шлях!
Чи спалив Архімед дзеркалом кораблі римлян?

1. ЧОМУ МИ БАЧИМО ПРЕДМЕТИ?

Більшість навколишніх предметів ми бачимо завдяки тому, що вони відбивають світло, яке падає на них. Відбивають світло різні предмети не однаково — саме це й надає розмаїтості навколишньому світові.

Рис. 17.1

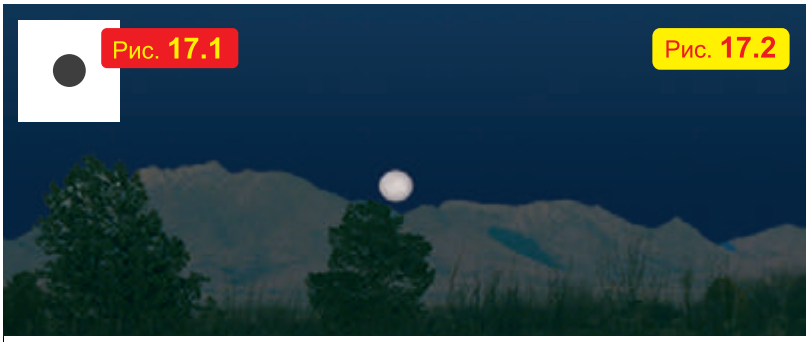


Рис. 17.2

Рис. 17.3

Предмети, що відбивають майже все світло, яке падає на них, здаються нам зазвичай білими (але далеко не завжди: наприклад, дзеркала, що добре відбивають світло, білими не виглядають!). Однак навіть сліпуче білий сніг відбиває не всі 100, а тільки 80—85 відсотків світла, що падає на нього.

Предмети ж, які поглинають майже все світло, що падає на них, здаються нам чорними. Але навіть чорне сукно все ж таки відбиває кілька відсотків світла. І розрахунки свідчать, що завдяки цьому чорне сукно в ясний сонячний день відбиває приблизно в ***десять тисяч*** разів більше світла, ніж білий сніг у місячну ніч! Чому ж тоді сукно здається нам чорним навіть у сонячний день, а сніг — білим навіть у місячну ніч? Річ у тім, що все пізнається в порівнянні: і сукно, і сніг ми ***порівнюємо*** з іншими предметами, освітленими так само.

Предмет, що відбиває всього 10 % світла, здається нам звичайно темно-сірим: таким, наприклад, є кружок, зображений на рис. 17.1. Однак, дивлячись на повний Місяць (рис. 17.2), мало хто назве його темно-сірим, хоча виміри показують, що він відбиває теж 10 % сонячного світла, що падає на нього. Річ у тім, що кружок ми бачимо на білому тлі, а Місяць — на тлі темного нічного неба.

Вид повного Місяця мало кого залишає байдужим, тож уявіть собі, яке величне видовище являє собою Земля, якщо спостерігати її з Місяця (рис. 17.3)! Для спостерігача, що перебуває на Місяці, Земля «світить» як 45 Місяців для земного спостерігача!

2. ДЗЕРКАЛЬНЕ ВІДБИТТЯ[1]

Тіла, що відбивають світло «краще» за всі інші, ми взагалі не бачимо! Це — ***дзеркала***. Вони відбивають до 80 % світла, що падає на них, але спробуйте ***побачити*** чисте дзеркало! Ви побачите раму дзеркала, порошини й подряпини на його поверхні, предмети, відбиті в дзеркалі... але самого дзеркала, як не намагайтеся, ви не побачите!

Чому так відбувається, ми розповімо в наступному параграфі. А зараз розглянемо, як дзеркало відбиває світло.

[1] Явище називають ***відбиттям***, а відповідний процес — ***відбиванням.***

ЗАКОНИ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА

Хід світлових променів[1] вивчають за допомогою приладу, який називають ***оптичним диском*** (рис. 17.4).

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Направимо промінь світла в площині диска на дзеркало, розташоване перпендикулярно до площини диска. Після відбиття промінь також буде йти в площині диска. Це означає, що справедливий

перший закон відбивання світла: відбитий промінь лежить у одній площині з променем, що падає, та перпендикуляром до дзеркала, поставленим у точці падіння променя.

Щоб установити, як пов'язані ***напрями*** променів світла — того, що падає, та відбитого, — визначимо кути падіння та відбивання.

Кутом падіння променя називають кут між променем, що падає, і перпендикуляром до дзеркала, поставленим у точці падіння (рис. 17.5). Кут падіння позначають часто грецькою літерою α (альфа). А кут між відбитим променем і перпендикуляром до дзеркала називають ***кутом відбивання*** та позначають часто β (бета).

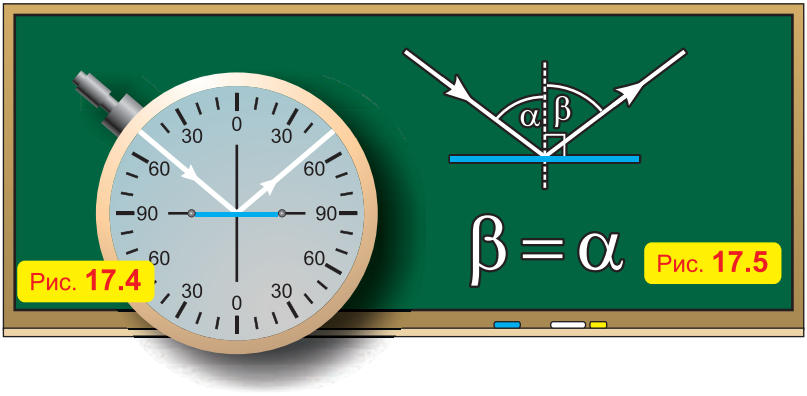


Рис. 17.4 Рис. 17.5

Змінюючи кут падіння й вимірюючи щоразу кут відбивання, ми переконаємося, що справедливий

[1] Зважаючи на те, що пучки світла досить вузькі, ми будемо казати про ***промені*** світла.

другий закон відбивання світла: кут відбивання дорівнює кутові падіння.

Розглянуте відбиття світла називають ***дзеркальним***. Воно відбувається в разі відбиття світла від дуже гладкої поверхні. У такому разі паралельний пучок променів після відбиття залишається паралельним (рис. 17.6).

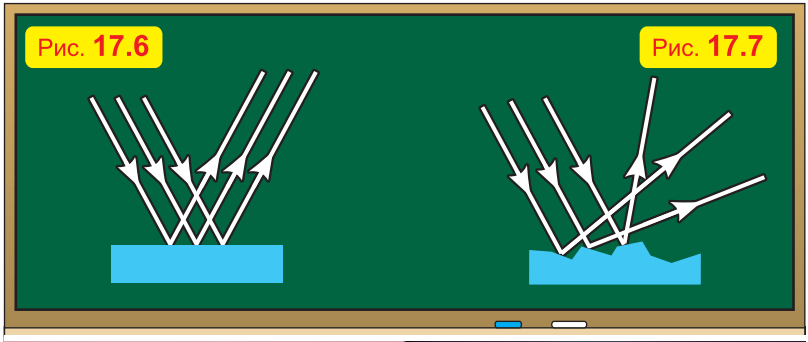


Рис. 17.6

Рис. 17.7

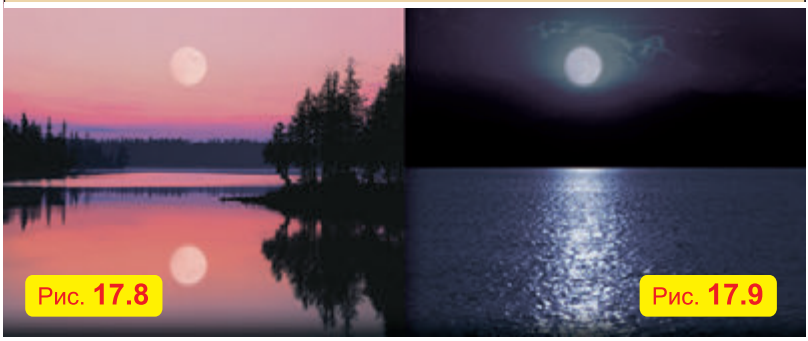


Рис. 17.8

Рис. 17.9

3. РОЗСІЯНЕ ВІДБИТТЯ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Направимо тепер пучок світла на аркуш паперу. Цього разу ми побачимо не відбитий пучок, а світлу пляму. Річ у тім, що поверхня паперу ***шорсткувата***, а після відбиття від шорсткуватої поверхні промені розсіюються ***в усі боки*** (рис. 17.7).

Таке відбиття світла називають ***розсіяним***.

Наочною моделлю дзеркального й розсіяного відбиття є відбиття Місяця у воді (рис. 17.8, 17.9).

Поверхня тихого озера відбиває світло дзеркально, і тому ми бачимо в озері чітке зображення Місяця. А на поверхні моря завжди є хвилі, завдяки яким відбиток Місяця «розбивається» та перетворюється на місячну доріжку.

Навколишні предмети ми бачимо саме тому, що вони відбивають світло ***розсіяно***! А дивлячись на поверхні, що відбивають світло дзеркально, ми бачимо ***відбитки інших предметів***.

Про це ми розповімо в наступному параграфі.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

СВІТЛО «ВИБИРАЄ» НАЙКОРОТШИЙ ШЛЯХ!

Як ви вже знаєте, у порожнечі або однорідному середовищі світло поширюється вздовж прямої, тобто найкоротшим шляхом.

Давньогрецький учений Герон помітив, що світло «вибирає» найкоротший шлях і в разі відбиття!

На рис. 17.10 показано хід променя світла, що йде з точки S у точку A після відбиття від дзеркала.

Можна довести, що, дотримуючись закону відбивання, світло проходить шлях, що дорівнює довжині ***відрізка*** $S'A$.

А якби світло відбилося від дзеркала в якійсь іншій точці, наприклад у точці C, то пройдений світлом шлях дорівнював би довжині ***ламаної*** $S'CA$. А довжина будь-якої ламаної завжди ***більша*** від довжини відрізка з тими самими кінцями — у розглядуваному випадку відрізка $S'A$.

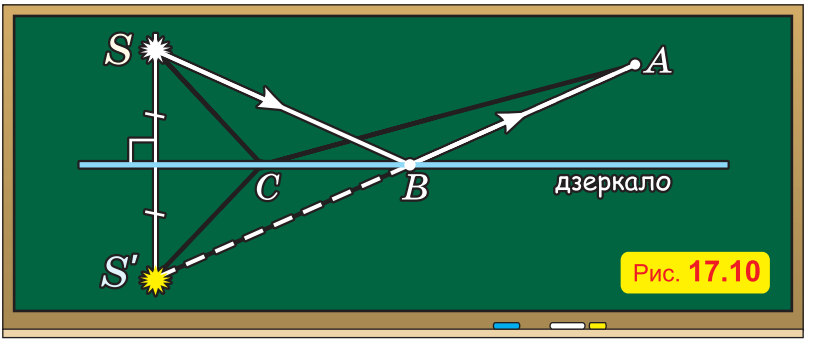


Рис. 17.10

ЧИ СПАЛИВ АРХІМЕД ДЗЕРКАЛОМ КОРАБЛІ РИМЛЯН?

Наприкінці 3-го століття до н. е. римляни осадили місто Сіракузи, у якому жив великий давньогрецький учений Архімед. Він побудував машини для захисту міста, успішне застосування яких змусило римлян відмовитися від спроб узяти місто штурмом. Це породило багато легенд: через 300 років давньогрецький історик Плутарх розповідав, що залізні пазурі захоплювали кораблі, піднімали їх у повітря й кидали у воду. Інші ж історики розповідали, що Архімед за допомогою дзеркала (або системи дзеркал) спалив римські кораблі, спрямувавши на них світло Сонця (рис. 17.11).

Рис. 17.11

У 20-му столітті розповідь про «дзеркала Архімеда» вирішили перевірити: на макет корабля направили «зайчики» від декількох десятків дзеркал. Через кілька хвилин показався дим і спалахнуло полум'я!

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому ми бачимо предмети?
2. Які кути називають кутом падіння й кутом відбивання?
3. Сформулюйте закони відбивання світла.
4. Промінь падає перпендикулярно до площини дзеркала. Чому дорівнює в такому випадку кут відбивання?
5. Що таке розсіяне відбиття? Наведіть приклади.
6. Чи залишиться паралельний пучок променів паралельним після дзеркального відбиття? Після розсіяного?

§ 18 ЗОБРАЖЕННЯ В ДЗЕРКАЛІ

1. Як виникає зображення в дзеркалі?
2. Де розташовано зображення в дзеркалі?
3. Де і як застосовують дзеркала?
Хочеш дізнатися більше?
Що змінює місцями дзеркало?
Скільки зображень можуть дати два дзеркала?
Чому «задзеркалля» так схоже на реальний світ?

1. ЯК ВИНИКАЄ ЗОБРАЖЕННЯ В ДЗЕРКАЛІ?

Якщо побудувати хід відбитих від дзеркала променів, що вийшли із точкового джерела світла S (рис. 18.1), ми помітимо, що ***продовження*** відбитих променів перетинаються ***в одній точці*** S'. Людині, в око якої потраплять відбиті промені, здаватиметься, що всі вони вийшли з точки S'.

Точку, у якій перетинаються продовження відбитих дзеркалом променів, що вийшли з точкового джерела, називають **зображенням** точкового джерела.

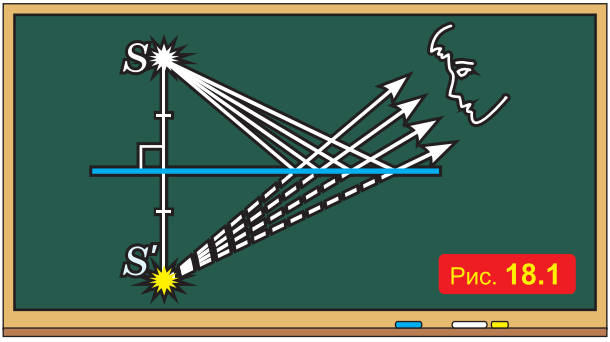


Рис. 18.1

Зображення в дзеркалі називають ***уявним***, тому що в точці-зображенні сходяться не промені, а їхні продовження.

2. ДЕ РОЗТАШОВАНО ЗОБРАЖЕННЯ В ДЗЕРКАЛІ?

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Закріпимо червоний і синій олівці однакового розміру вертикально на столі, а точно між ними поставимо дзеркало так, щоб воно було перпендикулярно до відрізка, що з'єднує основи олівців (рис. 18.2). Висота дзеркала повинна бути меншою, ніж довжина олівців.

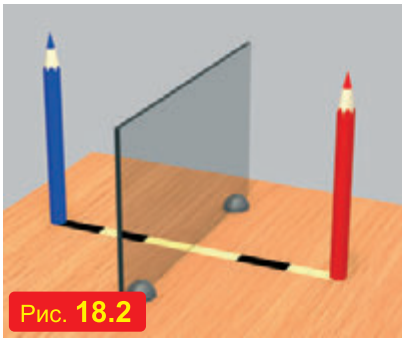


Рис. 18.2

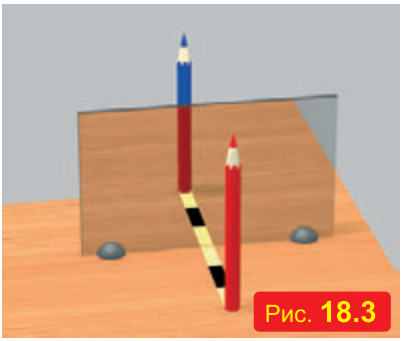


Рис. 18.3

Ми побачимо, що зображення червоного олівця в дзеркалі збігається із синім олівцем (рис. 18.3)!

Це означає, що зображення червоного олівця розташовано на такій же відстані від дзеркала, що й синій олівець, причому розмір зображення червоного олівця дорівнює розміру синього олівця.

Отже, дослід та геометрична побудова свідчать, що

уявне зображення предмета в дзеркалі й сам предмет розташовані по різні боки від дзеркала на одній прямій, перпендикулярній до площини дзеркала, і на однакових відстанях від дзеркала.

Розмір зображення предмета в дзеркалі дорівнює розміру самого предмета.

Щоб побудувати зображення точки в дзеркалі, проводять перпендикуляр із цієї точки до площини дзеркала й продовжують його на відстань, що дорівнює відстані від точки до дзеркала. Саме таку побудову й виконано на рис. 18.1.

3. ДЕ І ЯК ЗАСТОСОВУЮТЬ ДЗЕРКАЛА?

Кожен з нас дивиться в дзеркало хоча б раз у день, а представниці прекрасної половини людства любуються собою багато разів у день.

У техніці та в медицині дзеркала використовують для оглядів (рис. 18.4). У підводних човнах використовують перископи, щоб бачити те, що відбувається над поверхнею води. Перископ і його будову зображено на рис. 18.5. За допомогою дзеркал водій бачить дорогу позаду та салон свого автомобіля (рис. 18.6).

Рис. 18.4

Рис. 18.5

Рис. 18.6

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЩО ЗМІНЮЄ МІСЦЯМИ ДЗЕРКАЛО?

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Придивіться до свого «двійника» у дзеркалі уважніше, і ви побачите, що він усе ж таки відрізняється від вас (рис. 18.7)! Чи зможете ви відповісти — чим саме? Спробуйте знайти якнайбільше відмінностей!

Ви, мабуть, не раз помічали, що внаслідок відбиття в дзеркалі «ліве» й «праве» міняються місцями. Простягніть, наприклад, своєму дзеркальному «двійникові» праву руку — він «у відповідь» простягне вам ліву!

Однак дзеркало може змінювати місцями не тільки «ліве» й «праве»! Воно може змінювати місцями також «верх» і «низ»! Щоб переконатися в цьому, вийдіть просто на берег річки або озера (рис. 18.8).

Рис. **18.7**

Рис. **18.8**

СКІЛЬКИ ЗОБРАЖЕНЬ МОЖНА ОТРИМАТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДВОХ ДЗЕРКАЛ?

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІДИ

Поставте два дзеркала точно під прямим кутом одне до одного й подивіться на свої зображення у дзеркалах.

Ви побачите ***три*** зображення: ліворуч і праворуч (у кожному дзеркалі окремо) ви побачите два «звичайних» зображення, де «ліве» й «праве» помінялися місцями. А між ними, точно на стику дзеркал, ви побачите третє зображення!

Придивіться до нього — ви побачите, що воно незвичайне.

По-перше, це зображення завжди розташовано на стику дзеркал. Перевірте — куди б ви не відходили, воно неодмінно залишатиметься точно на стику! Це дуже зручно, бо завдяки цьому кілька людей можуть одночасно дивитися на свої зображення, не заважаючи один одному.

По-друге, у цьому «середньому» зображенні «ліве» й «праве» ***не міняються місцями***: простягніть своєму зображенню праву руку, і воно у відповідь «простягне» вам теж праву (рис. 18.9)! Отже, у такій системі дзеркал ви бачите себе саме таким, яким вас бачать інші люди.

Як же виникло це «правдиве» зображення?

Воно є результатом ***подвійного*** відбиття, тобто зображенням у правому дзеркалі зображення, утвореного за допомогою лівого дзеркала. Або — що теж правильно — зображенням у лівому дзеркалі зображення, утвореного за допомогою правого дзеркала (у цьому випадку ці два «зображення зображень» збігаються). Ось чому «ліве» та «праве» й залишилися «самі собою»: оскільки відбулося подвійне відбиття, то «ліве» й «праве» помінялися місцями теж двічі!

Дуже красивий дослід вийде також, якщо поставити два дзеркала під кутом 60°. У такому разі внаслідок багаторазового відбиття створюється цілих 5 зображень, причому «ліві» й «праві» зображення чергуються (рис. 18.10).

Саме так і побудовано калейдоскоп: ви бачите в ньому багаторазові відбиття різнобарвних скелець у двох дзеркалах, кут між якими дорівнює 60°. Іноді в калейдоскоп додають і третє дзеркало так, щоб дзеркала утворювали рівносторонній трикутник.

Якщо ж помістити предмет між двома паралельно розташованими дзеркалами, повернутими дзеркальними поверхнями одне до одного, то в цих дзеркалах виникає нескінченно багато зображень предмета (рис. 18.11). Однак розглянути можна лише скінченну їхню кількість, тому що внаслідок кожного відбиття інтенсивність відбитих променів зменшується. А якщо ледь повернути одне з дзеркал, низка зображень стане описувати красиву дугу (рис. 18.12).

Рис. 18.9

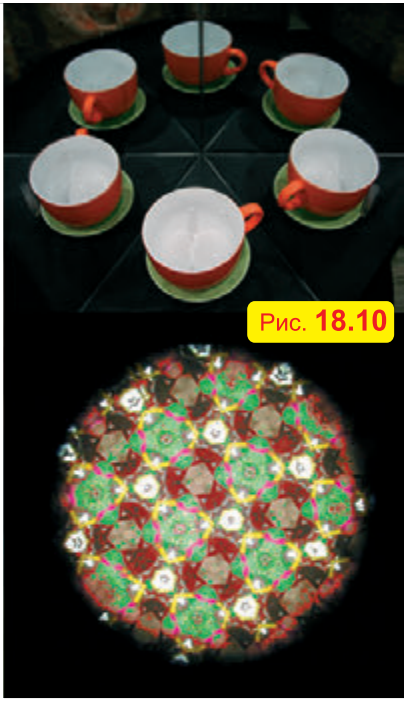


Рис. 18.10

Рис. 18.11

Рис. 18.12

ЧОМУ «ЗАДЗЕРКАЛЛЯ» ТАК СХОЖЕ НА РЕАЛЬНИЙ СВІТ?

Загадкове «подібність-розходження» реального світу й «задзеркалля» завжди приваблювало дітей і тих дорослих, які збе-регли дитячу допитливість, — учених і казкарів.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Придивіться уважніше до навколишніх предметів, і ви роз-гадаєте секрет дивної подібності двох світів — «задзеркалля»

й справжнього. Чи помітили ви, що в багатьох предметів лівий і правий боки однакові (точніше, майже однакові)? Такими є планети, дерева, квіти, тварини… (рис. 18.13). Про такі предмети кажуть, що вони ***дзеркально симетричні***.

Рис. **18.13**

Зображення дзеркально симетричних предметів у дзеркалі не відрізнятимуться від самих предметів (або ці відмінності будуть малопомітними). Це й пояснює, чому світ, що складається

з таких предметів, практично не змінюється внаслідок відбиття в дзеркалі.

Однак не всі предмети мають дзеркальну симетрію! І тому «задзеркалля», тобто світ, відбитий у дзеркалі, усе ж таки відрізняється від реального світу.

Наприклад, не має дзеркальної симетрії текст: якщо ви спробуєте читати відбиту в дзеркалі сторінку книжки, вам спочатку прийдеться нелегко (хоча навчитися цьому можна досить швидко).

Деякі слова не змінюються після відбиття в дзеркалі (наприклад, «потоп»). Спробуйте знайти ще такі слова або імена.

У перекладі з грецької «симетрія» означає «домірність». Симетрія породжує відчуття краси, тому художники, дизайнери та архітектори намагаються робити дзеркально симетричними візерунки й будинки (рис. 18.13). Симетрія не тільки красива — часто вона й необхідна (наприклад, для літаків і автомобілів).

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому в дзеркалі видно чіткі зображення предметів?
2. Чому зображення в дзеркалі називають уявним?
3. Де розташовано зображення предмета в дзеркалі?
4. Людина відійшла від дзеркала на один крок. Як змінилася відстань між людиною та її зображенням у дзеркалі?
5. Чи дорівнює розмір зображення предмета в дзеркалі розміру самого предмета?
6. Людина стоїть перед вертикально розташованим дзеркалом. Побудуйте зображення людини в дзеркалі.
7. Яким має бути розмір вертикально розташованого дзеркала, щоб людина бачила себе в ньому повністю?
8. Які ви знаєте застосування дзеркал?
9. Які букви не змінюються після відбиття в дзеркалі?

§19 ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

1. Спостереження та прості досліди
2. Закони заломлювання світла
3. Заломлення світла в призмі
Хочеш дізнатися більше?
Як виникають міражі?
Чи може не бути заломленого променя?

1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ПРОСТІ ДОСЛІДИ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІДИ

Занурте олівець у склянку з водою, і ви побачите, що олівець нібито «заломився» на межі «повітря-вода» (рис. 19.1). У тому, що насправді олівець залишився прямим, можна переконатися, провівши по ньому пальцем.

Причина вдаваного «зламу» олівця — ***заломлення світла*** на межі двох середовищ.

Заломленням світла називають зміну напрямку поширення світла на межі поділу двох середовищ.

Щоб спостерігати заломлення світла, проведіть ще кілька дослідів, доступних у домашніх умовах.

Покладіть на сторінку книжки скляну пластинку з паралельними гранями (таку пластинку називають плоско-паралельною). Розглядаючи крізь пластинку текст, ви побачите, що він здається піднятим (рис. 19.2).

Причиною «підняття» тексту є заломлення світла на межі «повітря-скло».

Подібне «підняття» відбувається й тоді, коли ви дивитеся на дно моря або річки крізь шар води: дно здається ***ближчим***, ніж воно є насправді. Обов'язково беріть це до уваги, входячи у воду в незнайомому місці!

[1] Явище називають ***заломленням***, а відповідний процес — ***заломлюванням***.

Покладіть на дно чашки монету, поставте чашку на стіл і подивіться на неї так, щоб край чашки ледве закривав монету. Не змінюючи положення голови, обережно налийте в чашку воду. Ви побачите, що дно чашки ніби-то піднялося: монета разом із дном «спливла», ставши видимою (рис. 19.3)!

Рис. 19.4 схематично показує, чим зумовлено «підняття» монети: промені світла, що йдуть від неї, на межі «вода-повітря» заломлюються.

Рис. **19.1**

Рис. **19.2**

Рис. **19.3**

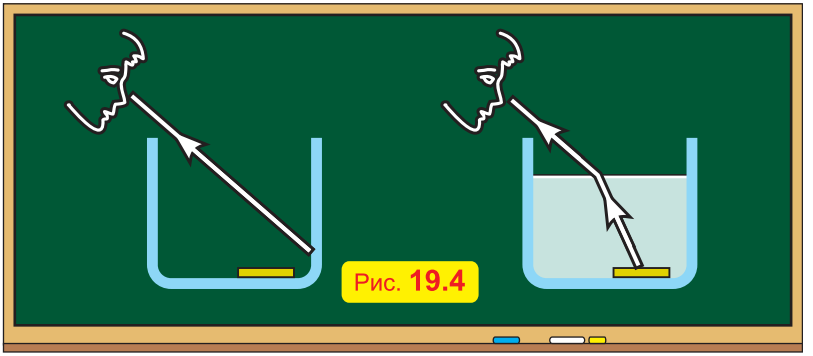


Рис. **19.4**

2. ЗАКОНИ ЗАЛОМЛЮВАННЯ СВІТЛА

Щоб установити закони заломлювання світла на досліді, скористаємося вже знайомим вам оптичним диском.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Направимо промінь світла на скляний півциліндр, як показано на рис. 19.5. Ми побачимо, що на межі «повітря-скло» промінь світла «роздвоюється» на два промені — ***відбитий*** і ***заломлений***.

Зосередимо зараз увагу на заломленому промені. Перш за все ми помітимо, що справедливий

перший закон заломлювання світла: заломлений промінь лежить у одній площині з променем, що падає, та перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точці падіння променя.

Кутом заломлювання називають кут між заломленим променем і перпендикуляром до дзеркала, поставленим у точці падіння (рис. 19.5). Цей кут позначають часто грецькою літерою γ (гама). Як ми бачимо, у разі переходу з повітря у скло кут заломлювання менший, ніж кут падіння.

Другий закон заломлювання світла встановлює співвідношення між кутами падіння й заломлювання. Щоб сформулювати його, визначимо поняття синуса кута.

Нагадаємо, що сторону прямокутного трикутника, що лежить проти прямого кута, називають гіпотенузою, а інші сторони — катетами. ***Синусом*** гострого кута α (позначають «$\sin\alpha$») називають відношення катета, протилежного цьому куту, до гіпотенузи (рис. 19.6).

Досліди показують, що справедливий

другий закон заломлювання світла: відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлювання для двох конкретних середовищ є сталою величиною: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n.$

Величину n називають ***відносним показником заломлювання*** цих двох середовищ. Якщо промінь падає в певне середовище з вакууму, n називають ***абсолютним показ-***

ником заломлювання (або просто показником заломлювання) цього середовища.

Показник заломлювання повітря відрізняється від одиниці всього на кілька десятитисячних. Показник заломлювання води дорівнює приблизно 1,33. Показник заломлювання звичайного скла дещо перевищує 1,5.

Коли кут падіння дорівнює нулю, кут заломлювання також дорівнює нулю. У решті випадків ці кути різні: наприклад, у разі переходу з повітря у скло або воду кут заломлювання менший від кута падіння. А в разі переходу зі скла в повітря, навпаки, кут заломлювання більший від кута падіння.

Фізичною причиною заломлення світла на межі двох середовищ є різна швидкість світла в різних середовищах: що менша швидкість світла в конкретному середовищі, то більший його абсолютний показник заломлювання.

Наприклад, те, що показник заломлювання води та скла більший від одиниці, означає, що швидкість світла у воді та склі менша, ніж у вакуумі.

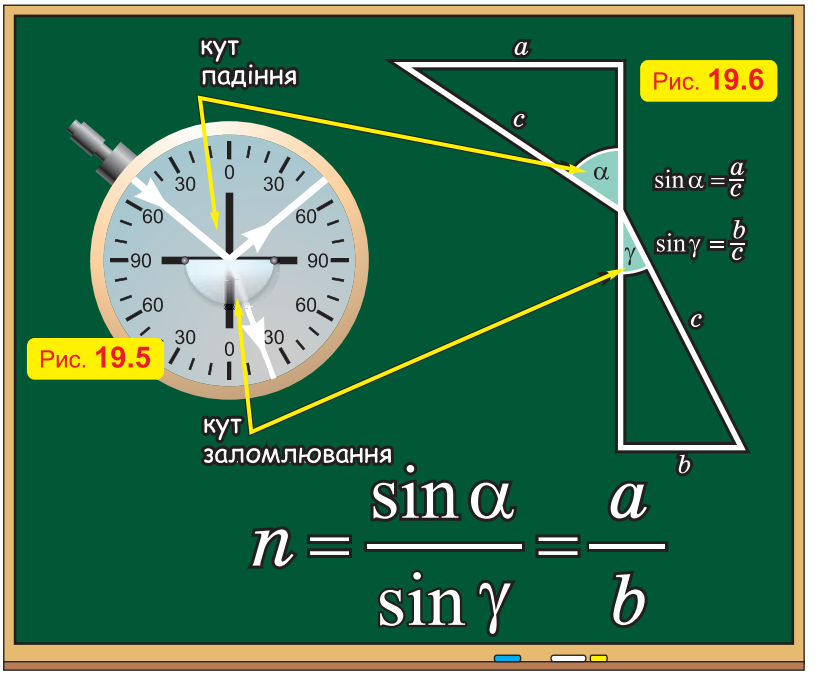


Рис. 19.5

Рис. 19.6

3. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА В ПРИЗМІ

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Направимо промінь світла на скляну призму, як показано на рис. 19.7. Проходячи крізь призму, промінь заломлюється ***двічі***. У результаті він відхиляється до основи призми (рис. 19.8).

Надалі ми побачимо, що призма не тільки відхиляє промені світла, а й розкладає біле світло в кольоровий спектр. Зараз же ми обмежимося розглядом пучків світла, що мають певний колір (найкраще з цією метою скористатися лазерним променем — наприклад, від лазерного ліхтарика).

Якщо паралельні промені світла падають на дві призми, розташовані так, як показано на рис. 19.9, то (залежно від розташування призм) промені стають або ***збіжними***, або ***розбіжними***. Це спостереження допоможе нам у наступному параграфі зрозуміти принцип дії лінз.

Рис. 19.7

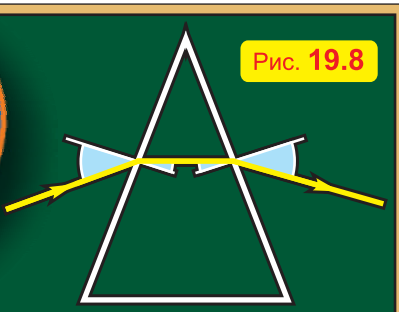


Рис. 19.8

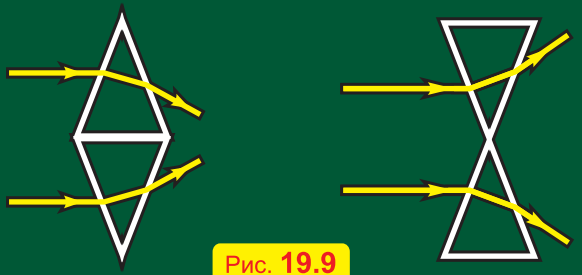


Рис. 19.9

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК ВИНИКАЮТЬ МІРАЖІ?

У неоднорідно нагрітому повітрі промені світла поширюються не прямолінійно, а плавно викривляються. Унаслідок цього виникають міражі — наприклад, коли посередині пекучої пустелі мандрівникові привиджується попереду озеро, яке відбиває блакитне небо.

Удень у пустелі нижні шари повітря дуже нагріваються від гарячого піску, унаслідок чого повітря стає ***неоднорідним***. Проходячи крізь таке середовище, промінь світла плавно викривляється (рис. 19.10). У результаті цього промінь, що йде ***зверху*** від блакитного неба***,*** попадає в око мандрівника ***знизу***. І людині, знеможеній спрагою, здається, ніби попереду є озеро, що відбиває блакитне небо. Мандрівник прямує до «озера», але... відстань до нього не зменшується!

У середніх широтах також можна спостерігати подібний міраж: у спекотний літній день водію або пасажиру здається, що він бачить «калюжі» на сухому шосе (рис. 19.11).

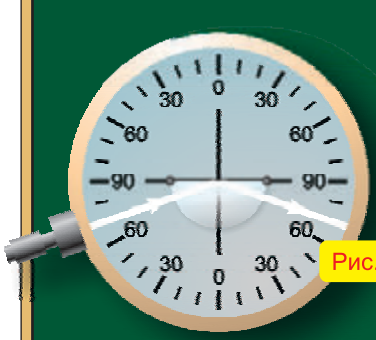
Рис. **19.10**

Рис. **19.11**

ЧИ МОЖЕ НЕ БУТИ ЗАЛОМЛЕНОГО ПРОМЕНЯ?

Коли світло переходить із води або скла в повітря, кут заломлювання γ ***більший*** від кута падіння α (рис. 19.12).

Цікаво простежити: що відбуватиметься із заломленим променем у разі збільшення кута падіння до 90°? Адже кут заломлювання не може бути більшим від 90°!



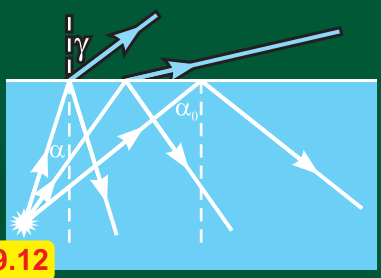


Рис. **19.12**

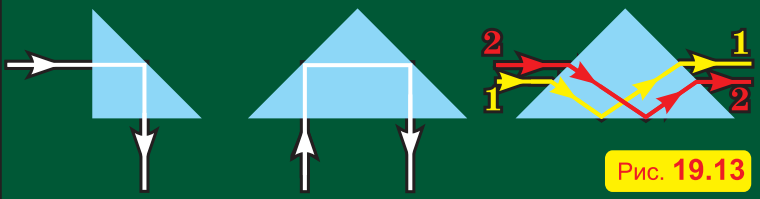


Рис. **19.13**

Рис. **19.14**

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Збільшуючи кут падіння, ми помітимо, що інтенсивність заломленого променя ***зменшується***. А для досить великих кутів падіння заломлений промінь зовсім ***зникає***: залишається тільки відбитий промінь!

Це явище називають ***повним внутрішнім відбиттям***. Наприклад, для променя, що йде з води в повітря, повне внутрішнє відбиття буде для кутів падіння, більших за 49°.

Повне внутрішнє відбиття використовують у багатьох оптичних приладах. На рис. 19.13 схематично показано, як повне внутрішнє відбиття використовують, наприклад, у призмах для повороту світлового променя на 90° та 180°, а також для «обернення» паралельного пучка променів.

Повне внутрішнє відбиття використовують також у сучасній техніці для передавання світлових сигналів тонкими скляними нитками — ***світловодами*** (так звана «волоконна оптика»). Хід променя світла у світловоді схематично показано на рис. 19.14.

По джгуту завтовшки у волосину, звитому з тонких скляних ниток, передають сигнали для телевізорів, телефонів і комп'ютерів. Світловоди використовують і для подавання світла від спільного джерела до панелей приладів у автомобілях.

Оптичні волокна використовують і в медицині. За їхньою допомогою зображення внутрішніх органів передають на телекамеру, що дозволяє ретельно обстежувати внутрішні органи.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Чому занурений у воду олівець здається зламаним?
2. У чому полягає явище заломлення світла?
3. Як визначають кут заломлювання?
4. Сформулюйте закони заломлювання світла.
5. Промінь світла йде з повітря у воду. Який кут більший: кут падіння чи кут заломлювання? Чи зміниться відповідь, якщо промінь іде з води в повітря?
6. Чим спричинено явище заломлення світла?
7. У який бік відхиляється промінь світла, проходячи крізь призму?
8. За яких умов відбувається повне внутрішнє відбиття?

§20 ЛІНЗИ

1. Основні елементи лінзи
2. Збиральна та розсіювальна лінзи
3. Фокусна відстань і оптична сила лінзи
4. Побудова зображення в лінзі

1. ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЛІНЗИ

Кожному з вас знайомі «збільшувальні» та «зменшувальні» стекла (рис. 20.1).

У чому ж полягає їхній секрет: чому вони збільшують і зменшують?

Дія цих стекол пов'язана з їхньою формою. Візьміть їх у руки і переконайтесь, що «збільшувальні» стекла посередині товщі, ніж біля країв, а «зменшувальні» — посередині тонші. Зазвичай поверхні таких стекол мають сферичну форму[1].

Прозоре тіло, обмежене сферичними поверхнями, називають **лінзою**[2].

Ми розглядатимемо далі скляні лінзи.

Лінзи, що посередині товщі, ніж біля країв, називають ***опуклими***, а лінзи, що посередині тонші, — ***увігнутими***.

На рис. 20.2 зображено опуклі й увігнуті лінзи «в розрізі», а поруч наведено умовні позначки таких лінз на рисунках.

Для простоти ми розглядатимемо далі тільки лінзи, товщина яких набагато менша за діаметри сферичних поверхонь, що їх обмежують. Такі лінзи називають ***тонкими*** лінзами.

[1] Одна з двох поверхонь може бути плоскою.

[2] Назва походить від латинського слова, що в перекладі означає «сочевиця» — рослина, зернини якої мають «лінзоподібну» форму.

Для тонкої лінзи можна вважати, що вся лінза лежить у одній площині, яку називають ***площиною лінзи*** (рис. 20.3).

Точку площини лінзи, де товщина лінзи максимальна (для опуклої лінзи) або мінімальна (для ввігнутої лінзи), називають ***оптичним центром лінзи***.

Крізь центр лінзи перпендикулярно до площини лінзи проходить ***головна оптична вісь лінзи***.

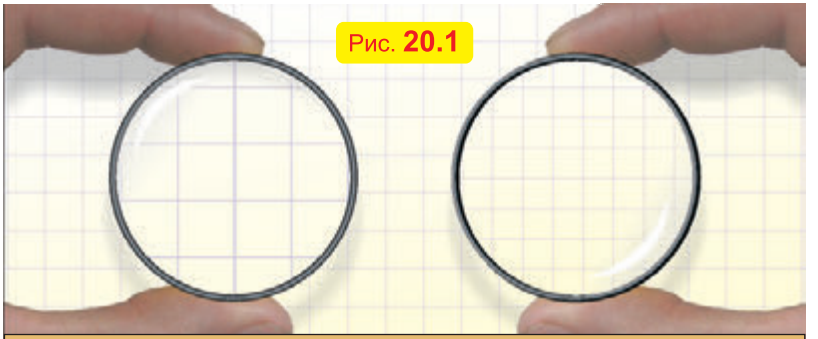


Рис. 20.1

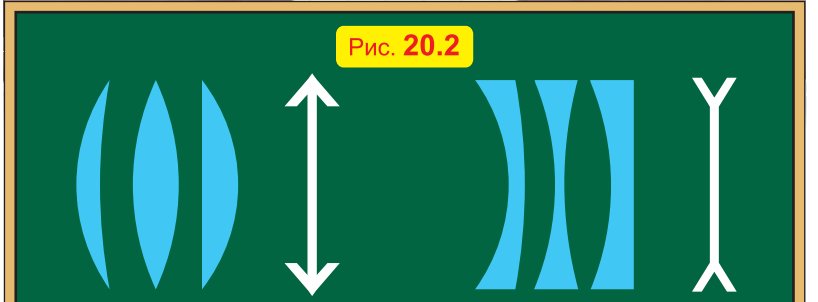


Рис. 20.2

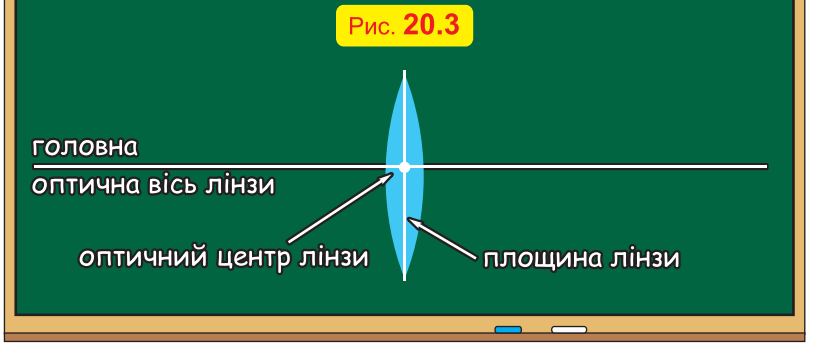


Рис. 20.3

2. ЗБИРАЛЬНА ТА РОЗСІЮВАЛЬНА ЛІНЗИ

Для вивчення лінз скористаємося шкільними моделями лінз і приладом, що дає паралельний пучок променів.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Направимо на ***опуклу*** лінзу паралельний пучок світла. Ми побачимо, що після заломлення в опуклій лінзі пучок стане збіжним (рис. 20.4).

Лінзу, що перетворює паралельний пучок променів у збіжний, називають **збиральною**.

Промені, що падають на збиральну лінзу паралельно головній оптичній осі, після заломлення в лінзі ***перетинаються в одній точці***, яку називають ***фокусом лінзи*** й позначають F (рис. 20.4).

Кожна збиральна лінза має два фокуси, розташовані по обидва боки від лінзи на однакових відстанях від неї.

Дію збиральної лінзи легко зрозуміти, якщо помітити, що її форма нагадує вже знайому нам систему двох призм зі сполученими основами (рис. 20.5).

Сонячні промені після заломлення в лінзі можуть запалити деревину (це добре відомо тим, хто «випалював» за допомогою «збільшувального» скла).

Якщо направити паралельний пучок променів на розсіювальну лінзу, то після заломлення в лінзі пучок стане ***розбіжним*** (рис. 20.6).

Лінзу, що перетворює паралельний пучок променів у розбіжний, називають **розсіювальною**.

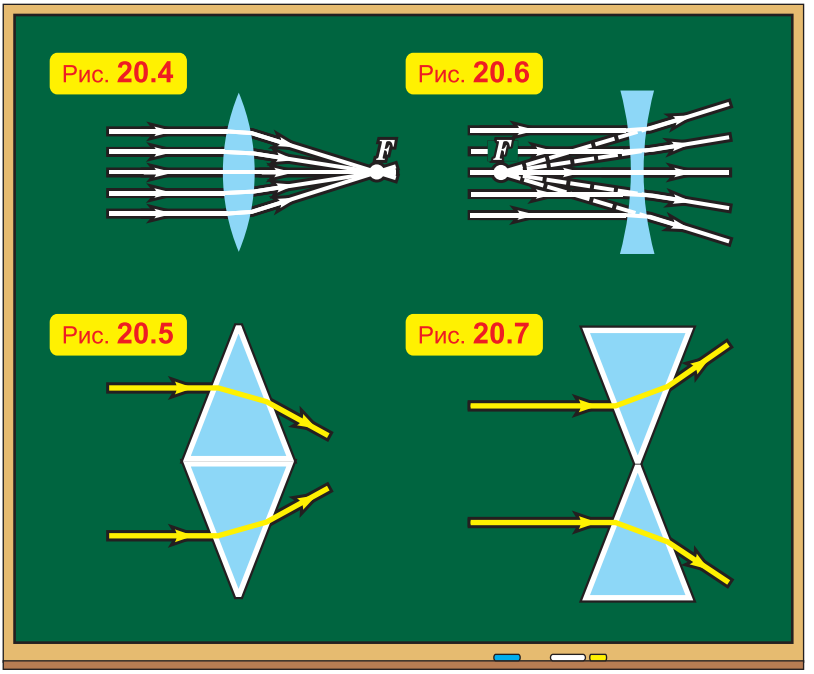
Паралельні промені, що падають на розсіювальну лінзу, після заломлення в лінзі спрямовані так, що їхні ***продовження*** перетинаються в одній точці, розташованій по той бік лінзи, звідкіля падає пучок (рис. 20.6).

Точку, у якій перетинаються продовження заломлених у розсіювальній лінзі променів, що падають на лінзу паралельно головній оптичній осі, називають також ***фокусом лінзи*** й позначають F (рис. 20.6).

Фокус розсіювальної лінзи називають уявним, тому що в цій точці перетинаються не самі промені, а їхні продовження.

Розсіювальна лінза, так само як і збиральна, має два фокуси, розташовані по обидва боки від лінзи на однакових відстанях від неї.

Дію розсіювальної лінзи можна зрозуміти, помітивши, що її форма нагадує вже знайому нам систему двох призм із суміщеними вершинами (рис. 20.7).



3. ФОКУСНА ВІДСТАНЬ І ОПТИЧНА СИЛА ЛІНЗИ

Відстань від площини лінзи до її фокуса називають **фокусною відстанню лінзи** та позначають F.

Оптичною силою лінзи називають величину D, обернену до фокусної відстані лінзи: $D = \frac{1}{F}$.

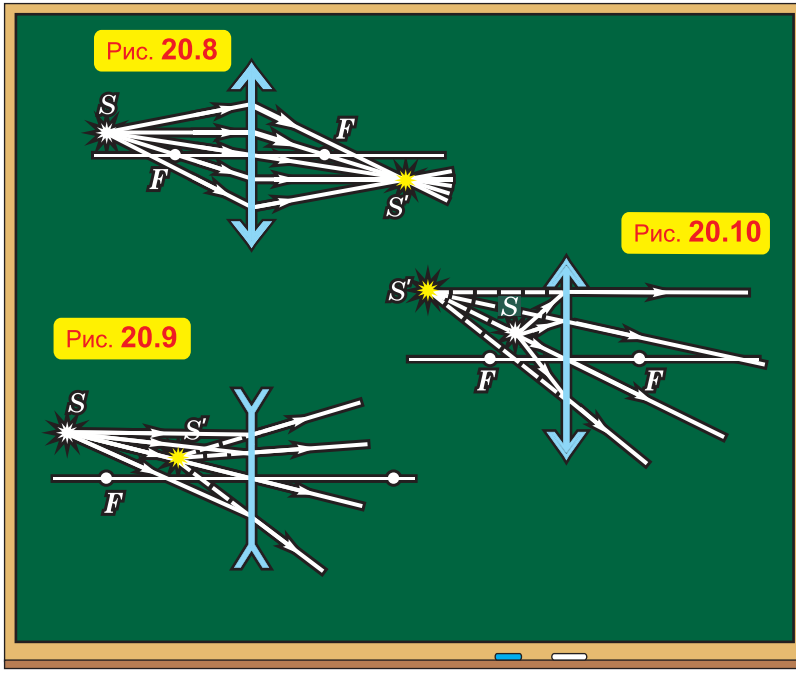
Одиницею фокусної ідстані в SI є 1 метр. Оптичну ж силу лінзи в SI вимірюють у $\frac{1}{\text{м}}$ (цю одиницю оптичної сили в побуті часто називають діоптрією). Наприклад,

оптична сила лінзи з фокусною відстанню 2 м дорівнює 0,5 $\frac{1}{\text{м}}$.

Що більша оптична сила лінзи (тобто чим менша її фокусна відстань), то сильніше заломлює вона промені, які падають на неї.

4. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В ЛІНЗІ

Промені, що виходять з однієї точки (точкового джерела світла), після заломлення в лінзі або перетинаються в одній точці (рис. 20.8), або спрямовані так, що їхні продовження перетинаються в одній точці (рис. 20.9 і 20.10). Ось чому лінзи дають чіткі зображення предметів: адже зображення предмета складається із зображень його точок.



Зображенням точкового джерела в лінзі називають точку перетину заломлених у лінзі променів (або їхніх продовжень), що виходять із джерела.

Якщо після заломлення в лінзі промені перетинаються, то точку їхнього перетину називають ***дійсним*** зображенням джерела (його можна одержати на екрані). Саме таким є зображення на рис. 20.8.

Якщо ж після заломлення в лінзі перетинаються не самі промені, а їхні продовження, то точку їхнього перетину називають ***уявним*** зображенням (рис. 20.9 і 20.10).

Зі сказаного вище випливає: щоб побудувати зображення точки S, досить побудувати хід двох променів, що виходять з неї. Точка S' перетину цих променів (або їхніх продовжень) і буде зображенням точки S.

ЯКІ ПРОМЕНІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЗОБРАЖЕННЯ В ЛІНЗІ?

Направимо на збиральну або розсіювальну лінзу промінь так, щоб він проходив крізь її ***оптичний центр***. Ми побачимо, що такий промінь завжди проходить крізь лінзу, ***не змінюючи напрямку*** (на рис. 20.11 зображено схему такого досліду). Це можна пояснити тим, що поблизу оптичного центра поверхні лінзи майже паралельні, а в такому разі промінь світла не змінює свого напрямку.

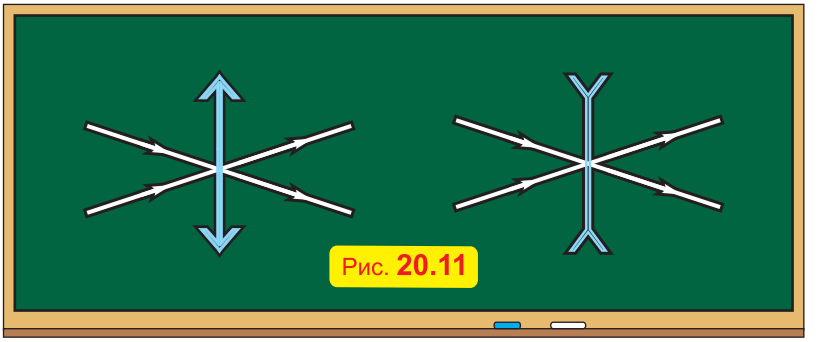


Рис. **20.11**

Ми обмежимося побудовою зображень точок, які не лежать на головній оптичній осі. Для побудови зображень таких точок в лінзі використовують зазвичай хід таких променів:

1) променя, що йде крізь центр лінзи, — як ми бачили, він не змінює напрямку;

2) променя, що падає на лінзу паралельно головній оптичній осі, — після заломлення в збиральній лінзі

він пройде крізь її фокус, а після заломлення в розсіювальній — його продовження пройде крізь фокус лінзи.

ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В ЗБИРАЛЬНІЙ ЛІНЗІ

Якщо відстань від предмета до лінзи ***більша за фокусну***, то після заломлення в лінзі промені перетинаються, тобто зображення буде ***дійсним*** (рис. 20.12).

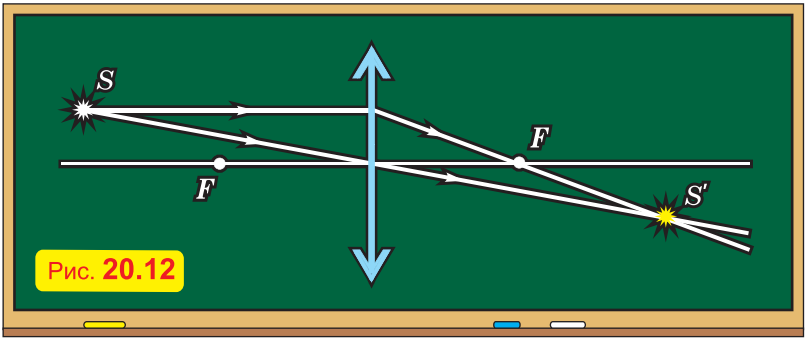


Рис. **20.12**

На рис. 20.13–20.15 показано побудову дійсного зображення ***предмета*** в збиральній лінзі (предмет позначено стрілкою). Дійсне зображення завжди перевернуте[1].

Відношення довжини зображення предмета до довжини самого предмета називають ***збільшенням лінзи***.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІДИ

Дійсне зображення предмета можна одержати на екрані. Геометрична побудова та дослід свідчать, що:

1) зображення буде ***зменшеним***, якщо відстань від предмета до лінзи ***більша за подвійну фокусну відстань*** від лінзи (рис. 20.13);

2) розмір зображення ***дорівнюватиме розмірові самого предмета***, якщо предмет розташовано на ***подвійній фокусній відстані*** від лінзи (рис. 20.14);

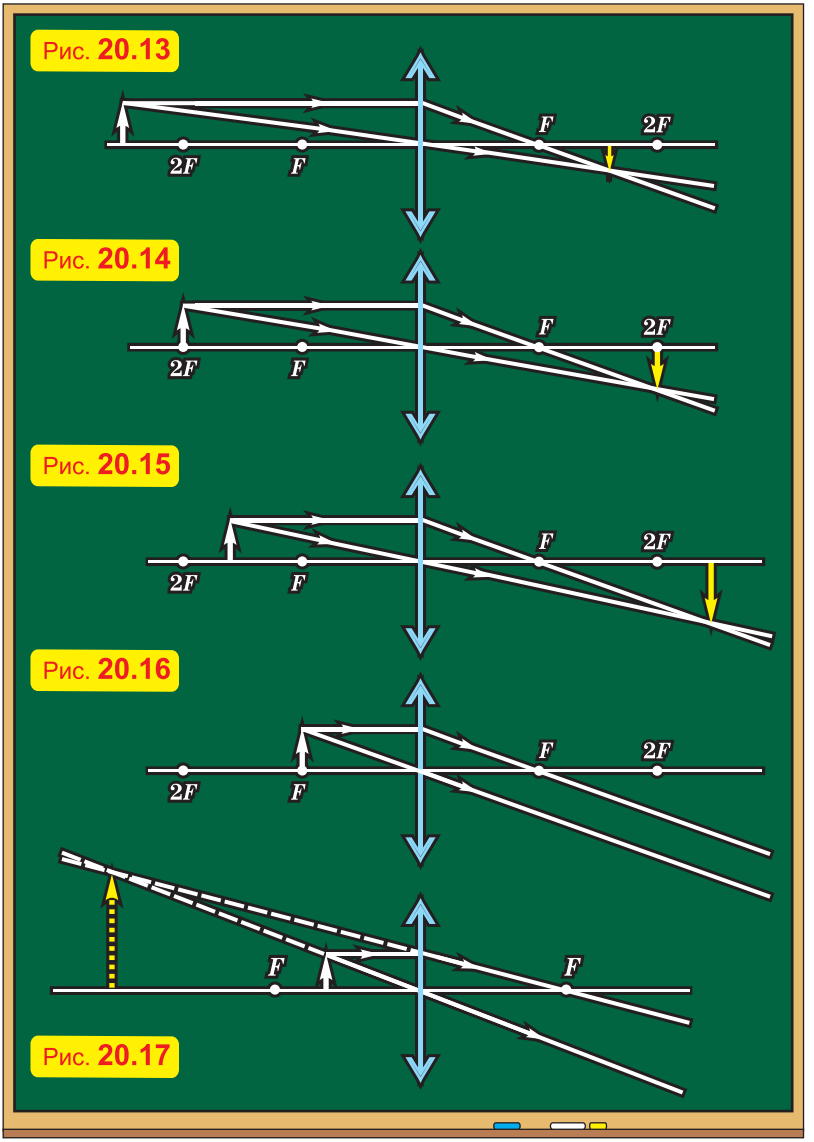
3) зображення буде ***збільшеним***, якщо предмет розташовано ***між подвійною фокусною відстанню та фокусною відстанню*** (рис. 20.15).

Якщо предмет розташовано на фокусній відстані від лінзи, то зображення предмета не існує, оскільки

[1] Перевернуте зображення називають також оберненим.

після заломлення в лінзі промені йдуть паралельно (рис. 20.16).

І нарешті, якщо предмет розташовано на відстані від лінзи меншій, ніж фокусна, ***зображення буде уявним, прямим і збільшеним*** (рис. 20.17).



Особливо велике збільшення збиральна лінза дає, коли предмет розташовано поблизу її фокуса (рис. 20.18). Як ми побачимо далі, це використовують у лупі, проекційному апараті, мікроскопі й телескопі.

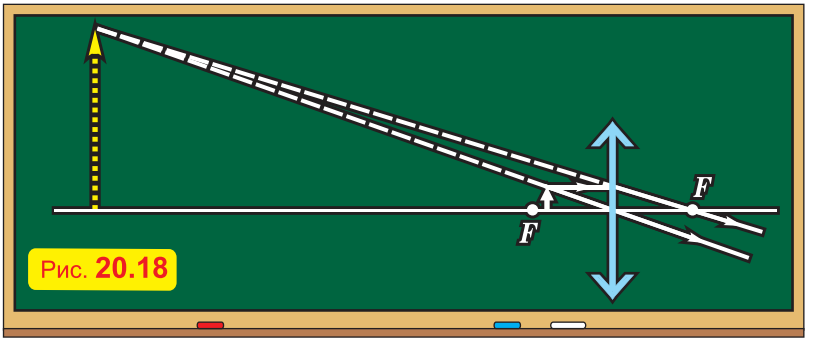


Рис. **20.18**

ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕННЯ В РОЗСІЮВАЛЬНІЙ ЛІНЗІ

Пучок променів, що виходить із будь-якої точки предмета, після заломлення в розсіювальній лінзі стає ще розбіжнішим. Тому перетинаються тільки продовження променів, тобто зображення завжди буде ***уявним*** (рис. 20.19). До того ж воно буде ***прямим*** і ***зменшеним***.

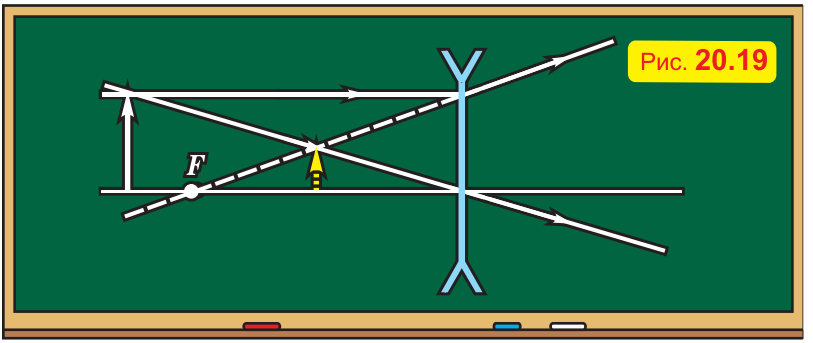


Рис. **20.19**

ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ

За допомогою дослідів та геометричних побудов можна переконатися, що між відстанню d від лінзи до предмета, відстанню f від лінзи до зображення та фо-

кусною відстанню лінзи F існує співвідношення, яке називають ***формулою тонкої лінзи***:

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

У цій формулі відстань до зображення треба брати зі знаком «плюс», якщо зображення дійсне, і зі знаком «мінус», якщо зображення уявне. Крім того, фокусну відстань збиральної лінзи беруть зі знаком «плюс», а розсіювальної — зі знаком «мінус».

Використовуючи формулу тонкої лінзи, можна знайти, наприклад, відстань до зображення, якщо ми знаємо відстань від лінзи до предмета та фокусну відстань лінзи. Для цього зручно знайти спочатку величину, обернену до шуканої відстані, а потім — і саму відстань.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке лінза? Які ви знаєте типи лінз?
2. Яку лінзу називають збиральною, а яку — розсіювальною?
3. Що таке фокус лінзи? Чим відрізняється фокус розсіювальної лінзи від фокуса збиральної лінзи?
4. Як визначають оптичну силу лінзи? Чому дорівнює оптична сила лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 10 см?
5. Що називають зображенням точкового джерела в лінзі?
6. У якому випадку зображення точки називають дійсним, а в якому — уявним?
7. Хід яких двох променів використовують зазвичай для побудови зображення точки в лінзі?
8. У яких випадках збиральна лінза дає дійсні зображення? Уявні? Які властивості цих зображень?
9. Коли збиральна лінза дає особливо велике збільшення?
10. Які зображення предметів дає розсіювальна лінза?
11. Запишіть формулу тонкої лінзи та поясніть, що означає кожна з величин, які входять до цієї формули.

§21 ОКО, ФОТОАПАРАТ І КІНОАПАРАТ

1. Око
2. Фотоапарат
3. Кіноапарат і проектор
Хочеш дізнатися більше?
Як ми визначаємо «на око» відстані до предметів?
Чому очі зайця дивляться в різні боки, а очі тигра — в один бік?
Ілюзії зору

1. ОКО

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Розташуйте збиральну лінзу навпроти вікна так, щоб світло, яке пройшло крізь лінзу, падало на аркуш паперу. Рухаючи лінзу, підберіть таку відстань від лінзи до аркуша, щоб на аркуші з'явилося чітке перевернуте зображення вікна та предметів за вікном (рис. 21.1). Схему цього досліду показано на рис. 21.2.

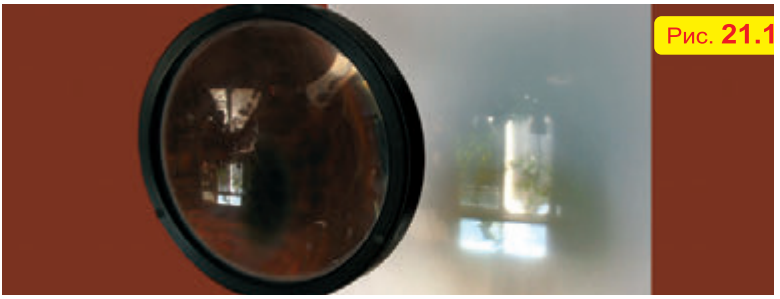


Рис. 21.1

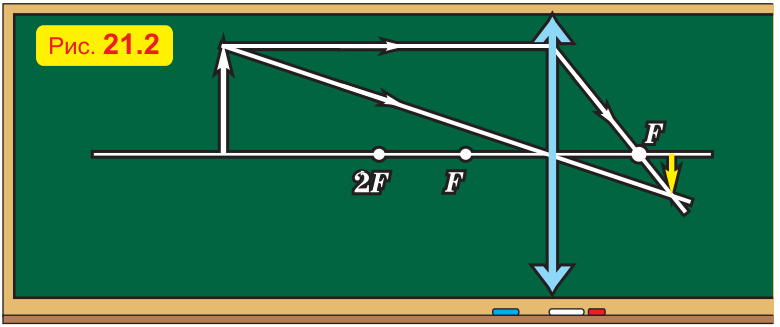


Рис. 21.2

Цей дослід розкриває нам «таємницю зору»: ми бачимо предмети тому, що на задній стінці ока, яку називають ***сітківкою*** (рис. 21.3), формується дійсне зменшене перевернуте зображення предметів.

Око — чудовий оптичний прилад, створений природою в процесі еволюції тварин і людини.

Роль збиральної лінзи в оці виконують ***роговиця*** та ***кришталик***. Фокусна відстань цієї лінзи в оці людини — близько 2,5 см.

Чому ж ми бачимо предмети не перевернутими, хоча зображення на сітківці — перевернуте?

Річ у тім, що мозок миттєво «перевертає» це зображення — саме для того, щоб ми сприймали предмети такими, якими вони є насправді.

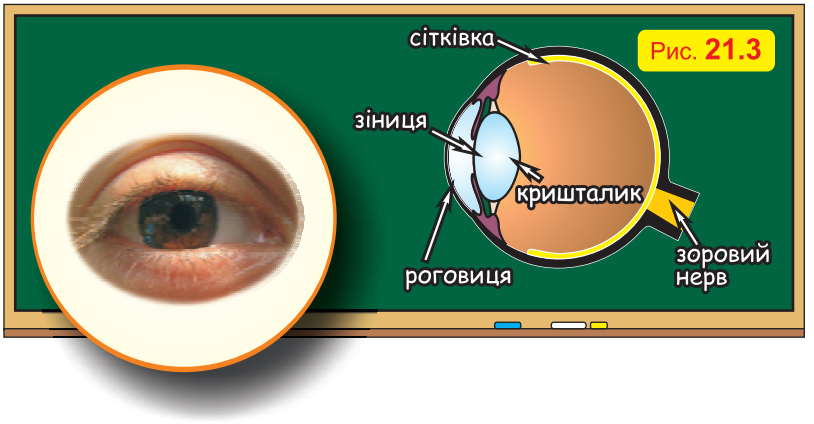


Рис. 21.3

Різкість зображення забезпечує кришталик: наприклад, коли людина розглядає близькі предмети, маленький м'яз стискає кришталик, унаслідок чого він товщає і його фокусна відстань зменшується. Таке «автопідстроювання» ока називають ***акомодацією***[1].

Мозок фіксує зусилля м'яза, який стискає кришталик, завдяки чому людина й оцінює «на око» відстань до

[1] У перекладі з латинської «пристосовування».

предмета: усі потрібні для цього обчислення миттєво виконує мозковий «комп'ютер». От як чудово «сконструйовано» людину! До того ж це не єдиний спосіб оцінювати відстань до предмета, подарований нам природою. Про інший, точніший спосіб оцінювання відстаней ми розповімо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Є ***межа акомодації***, через яку нам не вдається добре розглянути предмет, розташований ближче ніж 10—15 см від ока.

«Найзручніша» відстань для розглядання предметів людьми, що не мають вад зору, — приблизно 25 см. Цю відстань називають ***відстанню найкращого зору***.

2. ФОТОАПАРАТ

Будова фотоапарата (рис. 21.4) подібна до будови ока. Роль роговиці й кришталика тут виконує об'єктив, роль же сітківки в плівковому фотоапараті — світлочутлива плівка, а в цифровому — фотоелемент.

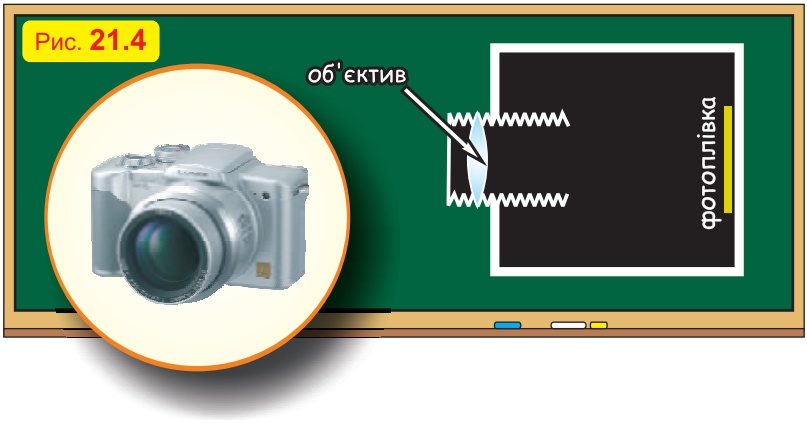


Рис. 21.4

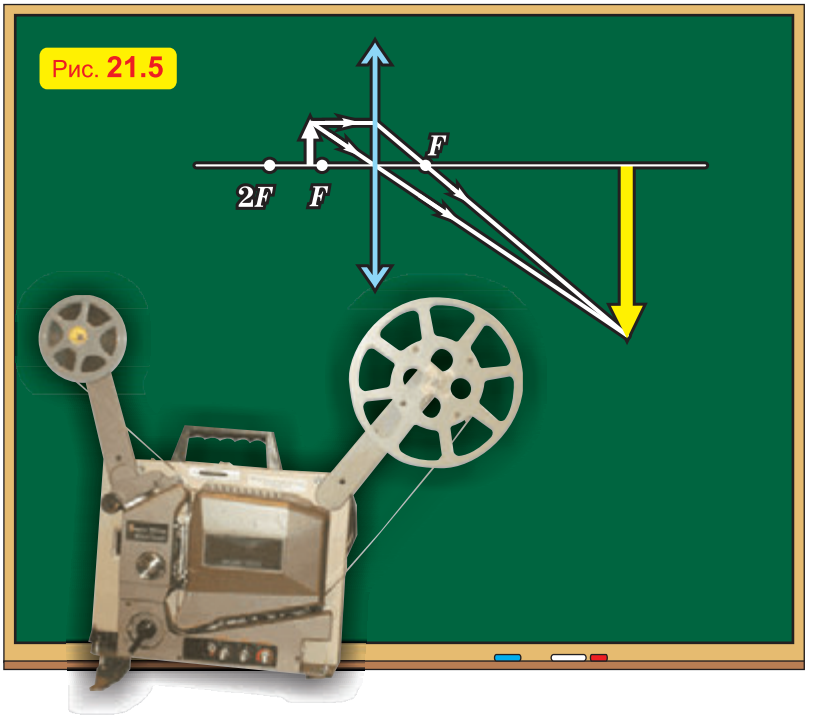
Істотною ж відмінністю фотоапарата від ока є спосіб наведення на різкість: для цього зазвичай змінюють відстань від об'єктива до плівки (фотоелемента). Однак останнім часом з'явилися фотоапарати, у яких можна плавно змінювати також і фокусну відстань об'єктива.

3. КІНОАПАРАТ І ПРОЕКТОР

Око й фотоапарат утворюють зменшені дійсні зображення предметів, розташованих звичайно на відстані, набагато більшій за фокусну відстань роговиці з кришталиком або об'єктива.

Розглянемо тепер випадок, коли збиральна лінза дає ***збільшене*** дійсне зображення.

Якщо джерело світла або яскраво освітлений предмет розташовано трохи далі від фокуса, створене лінзою зображення буде набагато більшим від самого предмета. Саме цю властивість лінзи використовують у проекційному апараті й кіноапараті (рис. 21.5).



Видиме на кіноекрані зображення — це дійсне, збільшене й перевернуте зображення яскраво освітлених кадрів. А щоб кіногерої на екрані не ходили догори ногами, плівку в кіноапарат установлюють перевернутою.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК МИ ВИЗНАЧАЄМО «НА ОКО» ВІДСТАНІ ДО ПРЕДМЕТІВ?

Про один такий спосіб ми вже розповідали вище — це «автопідстроювання» ока на різкість, що його виконує кришталик (акомодація).

Точніший спосіб оцінювання відстані ґрунтується на так званому «бінокулярному» зорові, тобто зорові двома очима. Річ у тім, що очі — ліве та праве — бачать предмети трохи по-різному, оскільки дивляться на них з різних точок.

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Розташуйте олівець вертикально та розгляньте його на тлі віддаленого стовпа. Підберіть положення олівця так, щоб, дивлячись одним лівим оком, ви бачили олівець ***праворуч*** від стовпа, а дивлячись одним правим оком — ***ліворуч*** від стовпа (рис. 21.6). Цей дослід доводить, що очі бачать світ не однаково!

Рис. **21.6**

За розбіжністю зображень, що посилають у мозок ліве та праве око, мозок і «обчислює» відстані до предметів.

У подібний спосіб учені вперше виміряли відстані до планет. Роль двох очей виконували два астрономи. Вони ***одночасно*** спостерігали планету Марс, але з ***різних точок*** земної кулі. Унаслідок цього видиме положення планети на небі для цих астрономів трохи відрізнялось. Завдяки цій невеликій розбіжності й удалося знайти відстань до планети!

Секрет бінокулярного зору розкрив великий італійський художник, учений і інженер Леонардо да Вінчі.

ЧОМУ ОЧІ ЗАЙЦЯ ДИВЛЯТЬСЯ В РІЗНІ БОКИ, А ОЧІ ТИГРА — В ОДИН БІК?

Зайця не випадково прозвали «косим»: його очі дійсно дивляться в ***різні*** боки (рис. 21.7)! Завдяки цьому заєць, не повертаючи голови, бачить практично все, що відбувається довкола нього (навіть позаду!). Такий широкий огляд життєво важливий для зайця, оскільки він має бути весь час насторожі.

Саме через це природа надала «косі» очі й іншим травоїдним: «косять» коні, козулі, кози, вівці... Усім їм необхідно мати широкий огляд, щоб вчасно помітити хижака, що підкрадається.

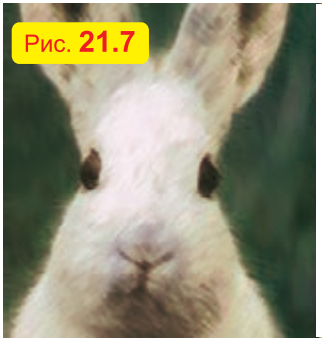


Рис. **21.7**

Рис. **21.8**

Зате в самих хижаків — зір бінокулярний! Згадайте глибоко посаджені очі вовка, тигра або лева, які дивляться прямо вперед (рис. 21.8). Бінокулярний зір необхідний хижакові: готуючись до стрибка, він має точно оцінити відстань до своєї жертви!

ОПТИЧНІ ІЛЮЗІЇ

Хоча око – дивний оптичний прилад, воно все-таки може помилятися! Омани зору називають ***оптичними ілюзіями***[1].

Оптичні ілюзії широко використовують у образотворчому мистецтві. Розглядаючи, наприклад, написану на плоскому полотні картину, ми бачимо її «глибину» саме тому, що митці використовують закони перспективи, які створюють ілюзію тривимірного зображення.

[1] Від латинського слова «ілюзіо» — обманювати.

Оптичні ілюзії бувають настільки правдоподібними, що буквально «не віриш власним очам»! Важко повірити, наприклад, що центральні кола на рис. 21.9 однакового радіуса або що горизонтальні лінії на рис. 21.10 — паралельні прямі! Щоб переконатися в цьому, доводиться взяти циркуль і лінійку.

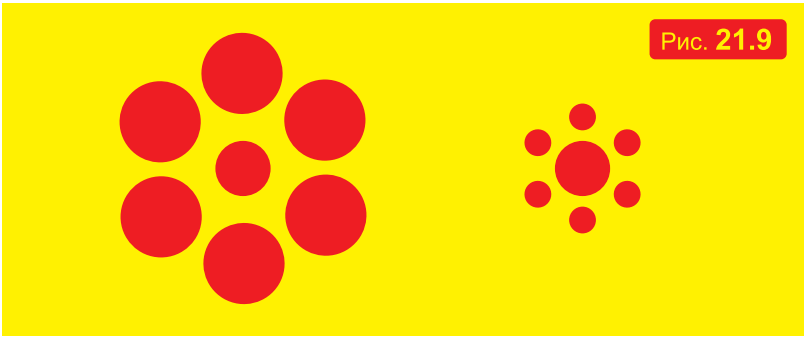


Рис. **21.9**

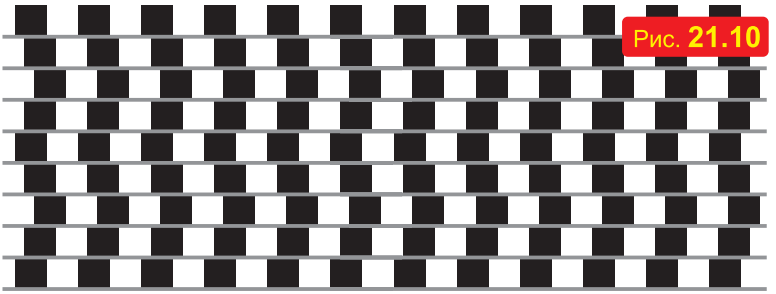


Рис. **21.10**

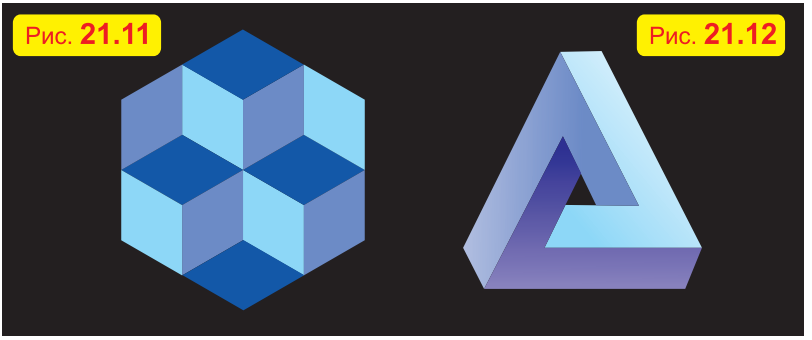


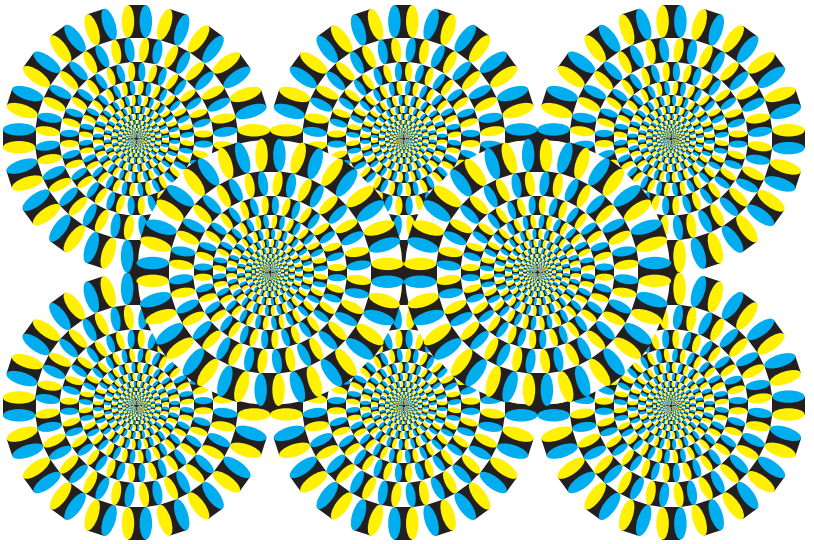
Рис. **21.11**

Рис. **21.12**

На рис. 21.11 зображено три куби. Але як вони розташовані? Спробуйте уявити спочатку, що їх освітлено зверху, а потім — що

їх освітлено знизу! Цікавим прикладом оптичної ілюзії є також «неможлива фігура», зображена на рис. 21.12.

Рис. **21.13**



Завдяки оману зору нерухома фігура може видатися навіть рухомою! Чи не здається вам, наприклад, що зображені на рис. 21.13 кола весь час «ворушаться»?

Оптичні ілюзії — добрий натяк на те, що не завжди можна довіряти навіть власним очам: треба вдаватися до допомоги вимірювальних приладів!

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Розкажіть про оптичну систему ока. Який дослід допомагає зрозуміти принцип дії ока?
2. Що спільного в будові ока й фотоапарата? Чим відрізняються в них способи наведення на різкість?
3. У якому випадку фокусна відстань кришталика більше: коли ви читаєте книжку або коли дивитеся телевізор?
4. Що таке відстань найкращого зору? Чому вона дорівнює?
5. Тримаючи олівець у руці, розгляньте його на тлі вікна. Чому ми бачимо чітко або олівець, або предмети за вікном?
6. Який принцип дії кіноапарата і проектора?

§22 ПОМІЧНИКИ ОКА

1. Вади зору та їхнє виправлення
2. Лупа
3. Як улаштовано мікроскоп?
4. Як улаштовано телескоп?
Хочеш дізнатися більше?
Чому ми бачимо уявні зображення?
Як правильно користуватися лупою?

1. ВАДИ ЗОРУ ТА ЇХНЄ ВИПРАВЛЕННЯ

За допомогою лінз можна виправляти вади зору.

Мабуть, ви помічали, що деяким людям, особливо похилого віку, важко розглядати близькі предмети, зокрема розташовані на відстані найкращого зору.

Цю ваду зору називають ***далекозорістю***: щоб розглянути близькі предмети, далекозорі люди намагаються відсунути їх подалі.

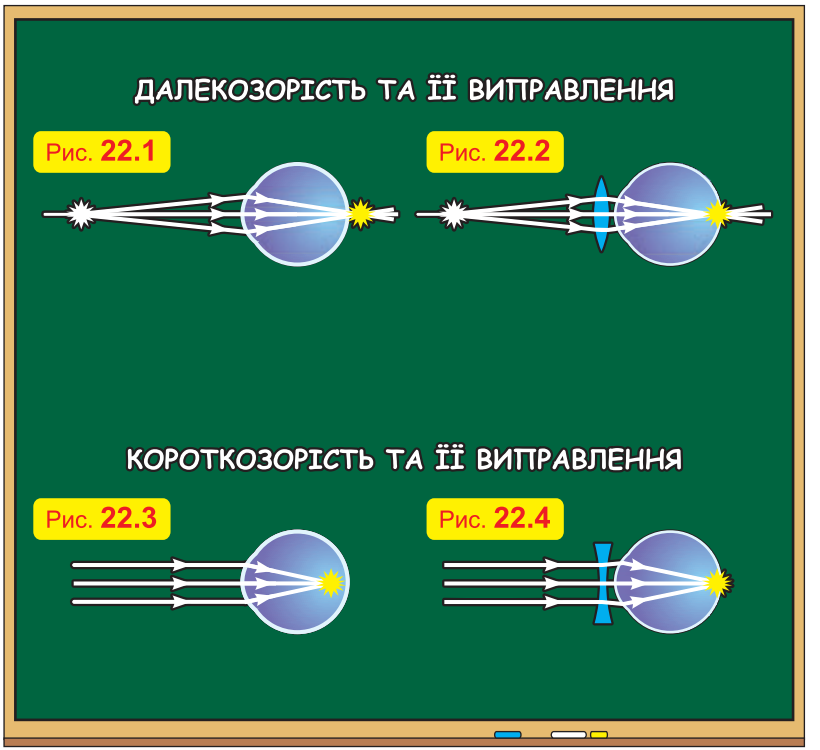
Однією з причин далекозорості є зменшення з віком пружності кришталика: він утрачає здатність збільшувати свою оптичну силу настільки, щоб сфокусувати на сітківці зображення близько розташованих предметів. Тому зображення предмета, розташованого на відстані найкращого зору, буде за сітківкою (рис. 22.1). Ось чому багато людей, яким понад 40–50 років, є далекозорими.

У разі далекозорості допомагають окуляри зі ***збиральними*** лінзами. Збиральна лінза допомагає кришталику сфокусувати на сітківці промені, які виходять від близько розташованих предметів. Унаслідок цього на сітківці виникає чітке зображення таких предметів (рис. 22.2).

Дуже поширена (цього разу — у будь-якому віці) і «протилежна» вада зору, коли людина добре бачить близькі предмети, але погано розрізняє віддалені.

Таку ваду зору називають ***короткозорістю***. Короткозора людина намагається наблизити предмет до очей, коли вона розглядає його без окулярів.

У короткозорості «винуватий» часто не кришталик, а форма ока: воно дещо витягнуто, унаслідок чого сітківка розташована занадто далеко від кришталика. Через це промені, що виходять від віддалених предметів, фокусуються не на сітківці, а перед нею (рис. 22.3).



У випадку короткозорості допомагають окуляри з ***розсіювальними*** лінзами: вони ніби зменшують оптичну силу роговиці й кришталика, унаслідок чого зображення віддалених предметів «відсувається» саме так, що попадає на сітківку (рис. 22.4).

Короткозорість часто є успадкованою, але вона може сформуватися й у шкільному віці через надмірне навантаження на очі під час читання й писання, особливо у разі поганого освітлення робочого місця — удома й у класі. Тому бережіть очі «як зіницю ока»!

2. ЛУПА

Ви вже знаєте, що лінза створює уявне пряме збільшене зображення предмета, якщо він перебуває від лінзи на відстані, меншій від фокусної.

Одержати на екрані уявне зображення не можна, але ***побачити*** його можна! Подивіться крізь збиральну лінзу на предмет, розташований ближче від її фокуса, і ви ***побачите збільшене пряме зображення*** предмета (рис. 22.5). Чому ми можемо бачити уявні зображення, розказано в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

Збиральну лінзу, призначену для розглядання дрібних предметів, називають ***лупою***[1]. Її фокусна відстань — від 1 см до 15 см.

Збільшення, яке можна одержати за допомогою лупи, залежить від її оптичної сили. Розрахунки показують, що це збільшення дорівнює відношенню відстані найкращого зору (25 см) до фокусної відстані лупи. Так, лупа з фокусною відстанню 2,5 см може дати десятикратне збільшення, тому що 25 : 2,5 = 10. Про те, як правильно користуватися лупою, розказано в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

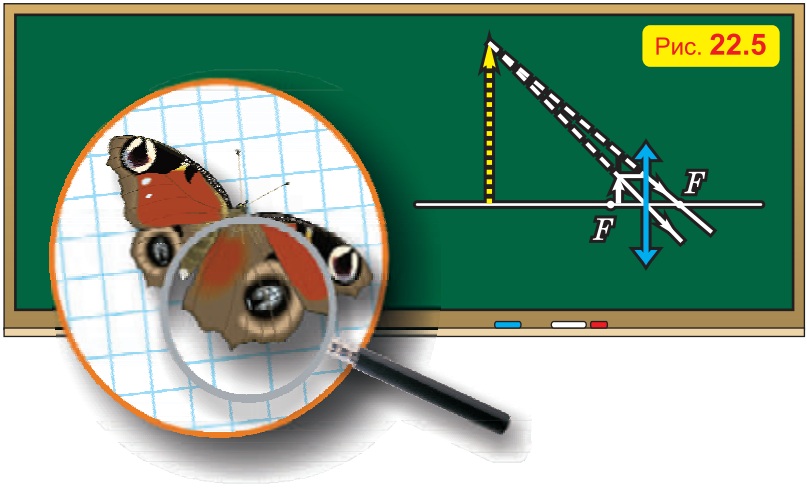


Рис. 22.5

[1] У побуті її часто називають «збільшувальним склом».

3. ЯК УЛАШТОВАНО МІКРОСКОП?

Мікроскоп — це прилад, призначений для розглядання дуже дрібних предметів (до тисячних часток міліметра). Наприклад, за допомогою мікроскопа можна спостерігати бактерії, вивчати клітинну будову живих організмів.

Широко використовують мікроскопи як у науці, так і в техніці — наприклад, для дослідження будови речовини й структури поверхонь.

Незамінні мікроскопи й у криміналістиці: будь-який злочин залишає сліди, але деякі з них настільки малі, що їх можна помітити тільки в мікроскоп.

Збільшення, яке можна одержати за допомогою мікроскопа, значно більше того, яке можна одержати за допомогою лупи. Річ у тім, що в мікроскопі збільшення відбувається ***двічі***.

Найпростіший мікроскоп — труба, у торці якої вставлено дві збиральні лінзи. Лінзу, розташовану ближче до розглядуваного предмета (об'єкта), називають ***об'єктивом***. Предмет розміщають трохи далі від фокуса об'єктива, щоб об'єктив створив сильно збільшене дійсне перевернуте зображення предмета.

Це зображення відіграє роль «предмета» для другої, наближеної до ока лінзи, яку через це називають ***окуляром***. Крізь окуляр, як крізь лупу, розглядають створене об'єктивом збільшене зображення предмета. Тому збільшення мікроскопа дорівнює добуткові збільшень, створених об'єктивом і окуляром.

Хороший об'єктив може давати збільшення до 100 разів, окуляр же дає збільшення не більш ніж у 20 разів. Отже, найкращий оптичний мікроскоп може давати збільшення до $100 \cdot 20 = 2000$.

Зробити збільшення оптичного мікроскопа набагато більшим неможливо. Це обмеження спричинено хвильовою природою світла: в оптичний мікроскоп не можна розглянути предмети, розміри яких менші або порівнянні з довжиною хвилі світла, тобто менші від тисячної частки міліметра.

Схему дії мікроскопа наведено на рис. 22.6.

Щоб зробити наочним те, що збільшення відбувається ***двічі***, тут позначено цифрами: 1 — предмет; 2 — створене об'єктивом збільшене зображення предмета; 3 — створене окуляром збільшене зображення того зображення, що створив об'єктив.

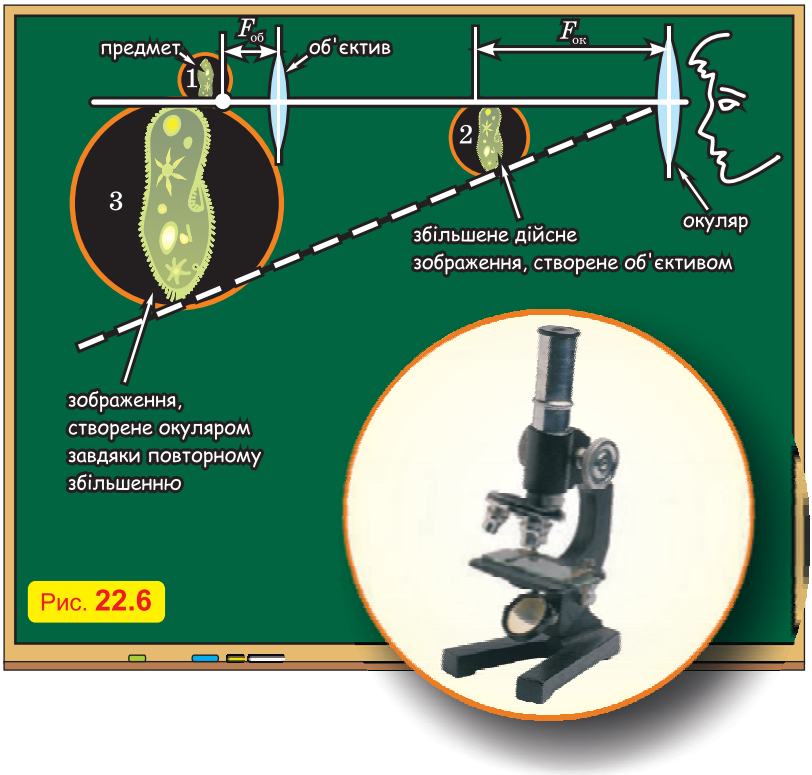


Рис. **22.6**

4. ЯК УЛАШТОВАНО ТЕЛЕСКОП?

Телескоп — прилад для розглядання віддалених предметів. Його, так само як і мікроскоп, можна зробити з двох збиральних лінз[1]. І в цьому разі лінзу, наближену до ока, називають ***окуляром***, а другу — ***об'єктивом***.

[1] Є також інші конструкції телескопа. Його можна, наприклад, побудувати з однієї розсіювальної та однієї збиральної лінзи, але ми обмежимося розглядом телескопів тільки одного типу.

У телескоп розглядають дуже віддалені предмети, тому об'єктив дає дійсне перевернуте й зменшене зображення такого предмета, розташоване поблизу фокуса об'єктива. І хоча воно є сильно зменшеним, зате розташоване набагато ближче, ніж сам предмет.

Це зображення розглядають крізь окуляр як крізь лупу (рис. 22.7). Отже, призначення окуляра в телескопі та мікроскопі практично однакове.

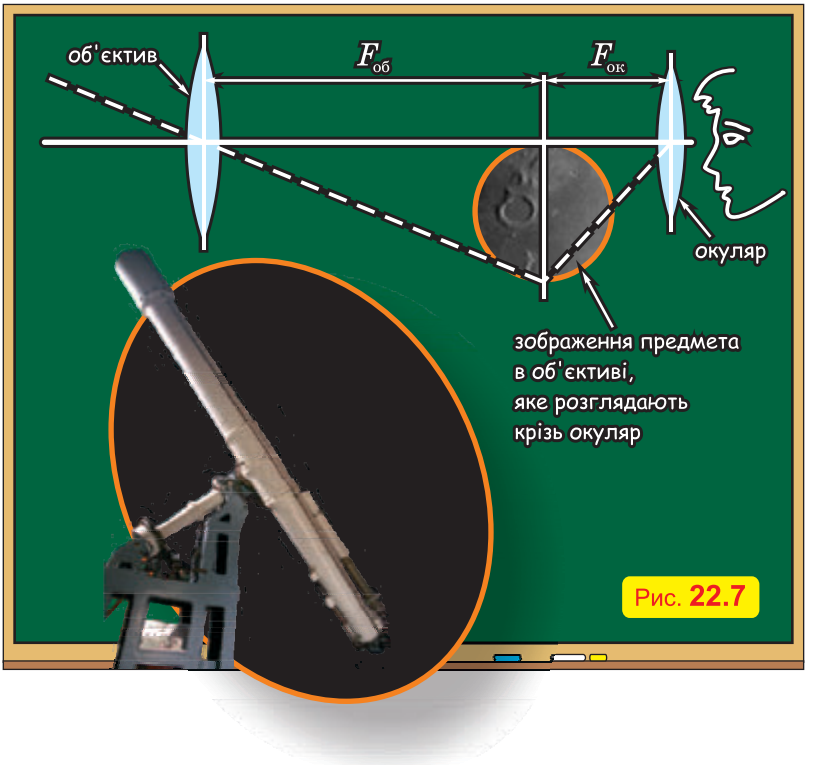


Рис. 22.7

А ось роль об'єктива в телескопі в якомусь сенсі «протилежна» ролі об'єктива в мікроскопі. Як ви вже знаєте, збільшення мікроскопа зростає зі збільшенням оптичної сили об'єктива, тобто зі ***зменшенням*** його фокусної відстані. А телескоп, навпаки, «наближає» предмет тим сильніше, чим ***більше*** фокусна відстань об'єктива!

Річ у тім, що розмір створеного об'єктивом зображення тим більше, чим далі від об'єктива розташова-

но це зображення, тобто чим більше фокусна відстань об'єктива. Тому об'єктив телескопа, на відміну від об'єктива мікроскопа, має ***велику*** фокусну відстань.

Розрахунки показують, що «наближення», яке дає телескоп, дорівнює відношенню фокусної відстані об'єктива до фокусної відстані окуляра. Наприклад, якщо фокусна відстань об'єктива дорівнює 1 м, а фокусна відстань окуляра дорівнює 1 см, телескоп «наближає» в 100 разів.

Фокусна відстань об'єктива телескопа може сягати десяти метрів. Такі телескопи «наближають» у тисячі разів.

Об'єктив хорошого телескопа повинен мати не тільки велику фокусну відстань, а й досить великий ***радіус***, тому що під час розглядання предметів за допомогою телескопа в око попадає в стільки разів більше світла, у скільки разів площа об'єктива більша від площі зіниці. Об'єктив телескопа — це ніби гігантська зіниця, спрямована в небо.

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЧОМУ МИ БАЧИМО УЯВНІ ЗОБРАЖЕННЯ?

Як ви вже знаєте, одержати на екрані уявне зображення не можна, тому що воно сформовано ***розбіжним*** пучком променів.

Однак, як ви теж знаєте, ***побачити*** уявне зображення можна, наприклад, розглядаючи предмет крізь лупу або навіть просто дивлячись на себе в дзеркало.

Згадаємо тепер, що коли ми просто розглядаємо предмет, від будь-якої його точки в око йде саме ***розбіжний*** пучок променів. Оптична ж система ока перетворює його в збіжний і формує на сітківці, як на екрані, дійсне зображення предметів.

ЯК ПРАВИЛЬНО КОРИСТУВАТИСЯ ЛУПОЮ?

Щоб одержати за допомогою лупи максимально можливе збільшення та до того ж не напружувати око, треба ***тримати лупу близько до ока, а предмет розташовувати поблизу її фокуса***. Саме так і користуються лупою професіонали — годинникарі, ювеліри, натуралісти (рис. 22.8).

А ось аматори часто користуються лупою неправильно: вони відсувають її від ока та розташовують поблизу розглядуваного предмета (рис. 22.9). Тоді «збільшувальні» можливості лупи

використовують не повною мірою, і до того ж звужується «поле зору» — адже збільшується тільки те, що видно ***крізь*** лупу.

Рис. **22.8**

Рис. **22.9**

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке далекозорість? Які лінзи використовують для виправлення цієї вади зору?
2. Що таке короткозорість? Які лінзи використовують для виправлення цієї вади зору?
3. Як треба розташувати предмет і лупу, щоб бачити крізь лупу збільшене зображення цього предмета? Яким буде це зображення — дійсним чи уявним?
4. Чому дорівнює фокусна відстань лупи, що дає чотирикратне збільшення?
5. Які принципи дії мікроскопа та телескопа?

§23 ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. КОЛІР

1. Дослід Ньютона з призмою. Дисперсія світла
2. Як око розрізняє кольори?
3. Чому листя зелене, а троянда червона?
Хочеш дізнатися більше?
Як виникає веселка?
Скільки кольорів на екрані телевізора?
Чому ввечері кольори тьмяніють?
Співвідношення між кольором і довжиною світлової хвилі

1. ДОСЛІД НЬЮТОНА З ПРИЗМОЮ. ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА

Навколишній світ грає барвами: нас радує й хвилює блакить неба, зелень трави та дерев, червона заграва вечірньої зорі, семибарвна дуга веселки.

Що ж таке колір? Чим спричинене забарвлення предметів? Як око розрізняє кольори?

Перший крок до розгадки кольору зробив великий англійський учений Ісак Ньютон. Тоді він був ще не всесвітньо відомим ученим, а зовсім юним випускником Кембриджського університету.

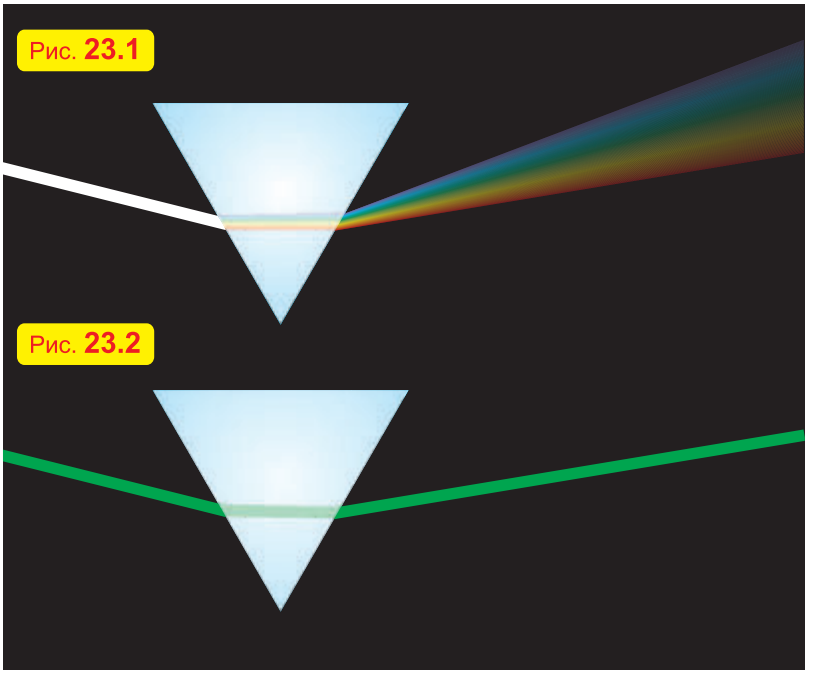
Зробивши маленький отвір у віконниці, Ньютон підставив під вузький пучок світла трикутну скляну призму. У ній пучок світла заломився, і на протилежній стіні з'явилася красива кольорова смуга, де в добре знайомому порядку розташувалися всі кольори веселки: ***червоний, жовтогарячий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий***. Цю кольорову смугу Ньютон назвав ***спектром***[1].

На рис. 23.1 схематично зображено цей знаменитий дослід Ньютона, який повторюють сьогодні в усіх школах світу.

З описаного досліду Ньютон зробив важливий висновок: розкладання білого світла в кольоровий спектр означає, що

[1] Від латинського «спектрум» — образ.

біле світло є складеним, тобто є сумішшю всіх кольорів веселки.



Поява кольорового спектра внаслідок проходження білого світла крізь призму спричинена тим, що промені різних кольорів заломлюються в склі ***по-різному***: найбільше заломлюються фіолетові промені, а найменше — червоні. Це означає, що

показник заломлювання світла залежить від його кольору. Це явище називають **дисперсією**[1] **світла**.

Якщо ж спрямувати на призму вузький пучок світла певного кольору, то такий пучок не розкладається в спектр, а залишається одноколірним (рис. 23.2). Сьогодні такий дослід можна проводити, наприклад, із променем лазерного ліхтарика або лазерної указки.

[1] У перекладі з латинської «дисперсія» означає розсіяння.

2. ЯК ОКО РОЗРІЗНЯЄ КОЛЬОРИ?

На сітківці ока розташовано світлочутливі елементи — нервові закінчення, які називають «паличками» й «колбочками». Палички відрізняють лише світле від темного. Колбочки ж є трьох типів — ми умовно назвемо їх «червоними», «зеленими» та «синіми», оскільки «червоні» колбочки найчутливіші до червоного кольору, «зелені» — до зеленого, а «сині» — до синього.

Усе різноманіття видимих нами кольорів спричинюють «сигнали», що їх посилають у мозок лише ***три*** типи колбочок. Наприклад, за такого співвідношення інтенсивності цих сигналів, яке дає сонячне світло, колір здаватиметься білим. Якщо в мозок ідуть сигнали тільки від «синіх» колбочок, то колір здаватиметься синім, а якщо тільки від «червоних» і «зелених» паличок — жовтим.

Властивість ока «розкладати» всі кольори на червоний, зелений і синій використовують для створення кольорових телевізорів і моніторів (дисплеїв) комп'ютерів. Про це ми розповімо в розділі «Хочеш дізнатися більше?».

3. ЧОМУ ЛИСТЯ ЗЕЛЕНЕ, А ТРОЯНДА ЧЕРВОНА?

Чому предмети, освітлені ***білим*** світлом, ми бачимо забарвленими в ***різні*** кольори: наприклад, листя зелене, а троянда червона?

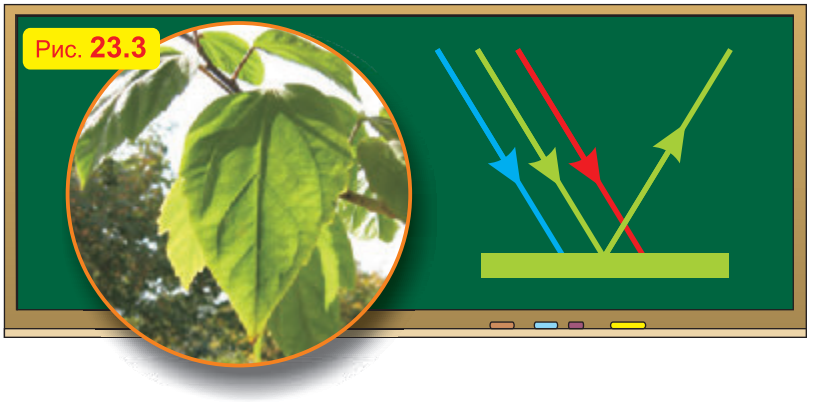
Ви вже знаєте, що біле світло є складеним, тобто є сумішшю всіх кольорів веселки. Якщо ***вилучити*** з цього набору деякі кольори, то залишена частина спектра сприйматиметься оком як така, що має деякий ***колір***.

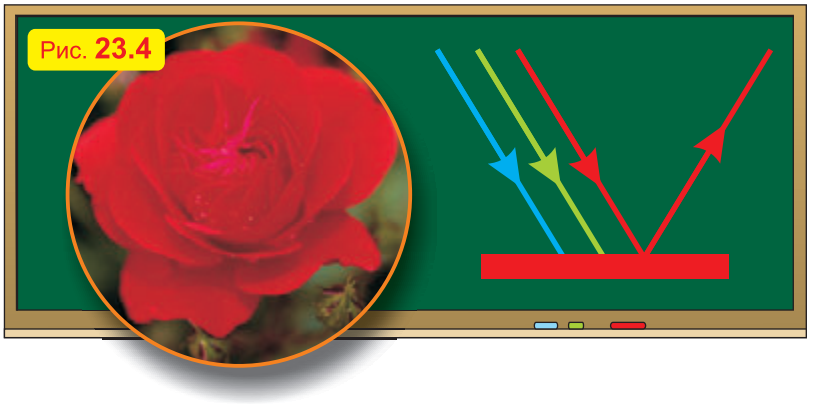
Нехай біле (наприклад, сонячне) світло падає на предмет, що поглинає «червоні» промені, а всі інші — відбиває (рис. 23.3). Якого ж кольору буде світло, відбите від цього предмета?

У ньому не вистачатиме червоної частини спектра, і тому він сприйматиметься оком як зеленуватий.

Зеленого кольору листю рослин надає хлорофіл — хімічна сполука, що «відповідає» за фотосинтез (перетворення сонячної енергії в хімічну енергію органічних речовин).

Хлорофіл поглинає переважно червоні й сині промені. У результаті відбитий від листу рослини «залишок» сонячного спектра набуває зеленого забарвлення.





А ось пелюстки червоної троянди, навпаки, дуже «охоче» відбивають саме «червоні» промені, а промені решти спектра поглинають (рис. 23.4). Саме тому троянда й червона!

ХОЧЕШ ДІЗНАТИСЯ БІЛЬШЕ?

ЯК ВИНИКАЄ ВЕСЕЛКА?

Коли після дощу з'являється сонце, часто можна спостерігати одне з найкрасивіших явищ природи — веселку (рис. 23.5).

У величезній різнобарвній дузі, що простягається на півнеба, можна розрізнити всі кольори веселки, причому зовнішня частина веселки забарвлена в червоний колір, а внутрішня — у фіолетовий.

Досить рідко над звичайною веселкою можна спостерігати ще й другу веселку, у якій порядок кольорів зворотний: зовні — фіолетовий, а всередині — червоний.

Рис. 23.5

Чи можна наблизитися до веселки? Навряд чи це комусь удасться, тому що веселка — це не предмет, а оптичне явище.

Спробуйте йти в напрямку до веселки, і ви побачите, що вона віддалятиметься від вас так, що відстань до неї здаватиметься незмінною.

Утім, якщо розібратися в секреті веселки, то невелику веселку можна «одержати» або побачити зовсім близько — біля садового фонтана й навіть у ванній кімнаті!

Чому ж виникає веселка?

Після дощу в повітрі залишається багато дрібних крапельок води, що мають форму кулі.

Коли промінь світла падає на таку крапельку, він заломлюється на поверхні крапельки, потім відбивається від її внутрішньої поверхні і, виходячи з води в повітря, заломлюється ще раз[1]. Унаслідок дисперсії промені, що відповідають різним кольорам, заломлюються ***по-різному*** (рис. 23.6).

У результаті, вийшовши з краплі, «червоний» промінь піде під одним кутом до горизонту, а «фіолетовий» — під іншим. Отже, в око спостерігача «червоний» і «фіолетовий» промені потраплять з ***різних*** крапель (рис. 23.7). Причому всі «червоні» краплі буде видно під однаковим кутом, унаслідок чого вони здаватимуться розташованими на ***дузі кола***. «Жовтогарячі» краплі буде видно на «сусідній» дузі меншого радіуса й так далі — аж до крапель, що утворюють «фіолетову» дугу, розташовану нижче решти «кольорових» дуг.

СКІЛЬКИ КОЛЬОРІВ НА ЕКРАНІ ТЕЛЕВІЗОРА?

ПРОВЕДЕМО ДОСЛІД

Нанесіть обережно на екран телевізора крапельку води: вона відіграватиме роль маленької, але досить сильної лінзи. Крізь цю лінзу ви ясно побачите, що будь-яке кольорове зображення складається зі світних точок усього ***трьох*** кольорів — червоних, зелених і синіх, тобто саме тих, до яких найчутливіші колбочки сітківки ока.

Наприклад, там, де на екрані білий колір, ці три точки матимуть приблизно однакову яскравість. А там, де на екрані видно жовтий колір, ви не побачите жовтих точок: ви побачите тільки червоні й зелені точки — що узгоджується з розказаним вище про те, як око розрізняє кольори.

[1] Це тільки один з можливих «шляхів» променя світла. Причиною подвійної веселки є подвійне відбиття променів світла всередині крапель води.

Схематично змішання кольорів на екрані телевізора показано на рис. 23.8.

Те, що для отримання кольорового зображення в телевізорі обрано саме ті кольори, до яких чутливі різні типи колбочок сітківки ока, не випадковий збіг, а результат успішної співпраці фізиків і біологів.

Рис. 23.8

Рис. 23.9

Колір, що створюється в разі «вилучення» деякого кольору з білого, називають ***доповняльним*** до цього кольору. Так, доповняльними один до одного є червоний і зелений кольори, жовтий і фіолетовий, а також синій і жовтогарячий (рис. 23.9). Знати доповняльні кольори важливо для художників і дизайнерів: завдяки використанню таких кольорів можна створити збалансовану, комфортну для ока комбінацію кольорів.

ЧОМУ ВВЕЧЕРІ КОЛЬОРИ ТЬМЯНІЮТЬ?

Ви, мабуть, помічали, що, коли настають сутінки, яскраві кольори «тьмяніють» і світ стає «чорно-біло-сірим». Так що не випадково народилося прислів'я «уночі всі коти сірі»!

Але як тільки зійде сонце, ранок знову радує нас яскравими барвами. Чому ж так відбувається?

Річ у тім, що вже знайомі вам палички, які відрізняють темне від світлого, дуже чутливі до світла, а колбочки, що розрізнюють колір, набагато менш чутливі. Тому за слабкого освітлення «працюють» переважно палички. Унаслідок цього ми й ***бачимо*** (у буквальному сенсі цього слова!) результат їхньої роботи — чорно-біло-сірий світ.

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ КОЛЬОРОМ І ДОВЖИНОЮ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ

Як ви вже знаєте, світло має хвильову природу. Велику роль у встановленні хвильової природи світла відіграв англійський учений Томас Юнг. Він установив, що кожному кольору відповідає певна ***довжина хвилі***, причому фіолетовому кольорові – найменша, а червоному — найбільша.

Саме Юнг першим і виміряв довжини хвиль, що відповідають різним кольорам. Виявилося, що ці довжини хвиль дуже малі порівняно з розмірами предметів, видимих неозброєним оком: так, довжина хвилі фіолетового світла складає близько 4 десятитисячних часток міліметра, а червоного — близько 8 десятитисячних часток міліметра.

Коли Юнг одержав ці результати, стало зрозумілим, чому хвильова природа світла практично не виявляє себе в повсякденному житті.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Розкажіть про дослід Ньютона з призмою. Який висновок зробив учений з цього досліду?
2. Чи можете ви перелічити кольори веселки в правильному порядку?
3. Які промені сильніше заломлюються у склі — червоні або фіолетові?
4. Що називають дисперсією? Наведіть приклади дисперсії.
5. Як око розрізняє кольори?
6. Чому предмети мають різне забарвлення?

§24 СИЛА СВІТЛА Й ОСВІТЛЕНІСТЬ

1. Сила світла
2. Освітленість
3. Як залежить освітленість від кута падіння світла?
4. Як правильно вибрати освітлення?

1. СИЛА СВІТЛА

Джерела світла можуть значно відрізнятись одне від одного. Найсильніше для нас джерело світла — Сонце, на яке боляче дивитися неозброєним оком (рис. 24.1).

Рис. 24.1

Але людське око помічає навіть дуже слабкі джерела світла, наприклад світлячків.

Світіння джерела характеризують фізичною величиною, яку називають ***силою світла***.

Силу світла позначають зазвичай I.

Одиниця сили світла — **кандела** (кд).

Джерело світла в 1 канделу визначено міжнародною угодою. Ми не наводимо тут точне визначення канде-

ли, а обмежимося порівнянням: кандела — це приблизно сила світла однієї звичайної свічки[1]. А виражена в канделах сила світла електричної лампи розжарювання приблизно дорівнює її потужності, вираженій у ватах. Так, лампа потужністю 100 Вт має силу світла приблизно 100 кд.

Числове значення сили світла Сонця — величезне число з 27 нулями, а сили світла світлячка — від однієї сотої до однієї тисячної кандели.

2. ОСВІТЛЕНІСТЬ

Щоб визначити, як освітлена поверхня, уведено фізичну величину ***освітленість***. Освітленість позначають ***E*** і вимірюють ***люксами*** (лк). Один люкс — це освітленість пластинки, розташованої на відстані 1 м від точкового джерела світла силою 1 кд, коли світло від джерела падає на пластинку перпендикулярно.

ПРИКЛАДИ

Ясного сонячного дня освітленість поверхні Землі складає до ста тисяч люксів. Освітленість Землі значно змінюється залежно від географічної широти, часу доби й пори року.

Освітленість шкільної парти відповідно до норм має бути не меншою ніж 150 лк. Це враховують, коли проектують освітлення шкіл, але учням та вчителям треба зважати на те, що ввечері або хмарного дня така освітленість буде тільки за умови, що в класі світять ***усі*** передбачені проектом лампи!

Око людини має надзвичайно високу чутливість: людина може розібрати текст у книзі за освітленості, що складає всього десяті частки люкса, — наприклад, під час повні, коли освітленість дорівнює 0,25 лк, тобто приблизно в 400 000 разів менша, ніж ясного сонячного дня.

[1] Це й зумовило назву одиниці сили світла: у перекладі з латинської кандела означає «свічка». Порівняйте зі словом «канделябр» — підставка для свічок.

Але зловживати можливостями такого чудового «оптичного інструмента», як око, не варто: читаючи за слабкого освітлення, ви погіршуєте свій зір!

ВІД ЧОГО ЗАЛЕЖИТЬ ОСВІТЛЕНІСТЬ?

Для вимірювання освітленості використовують спеціальні прилади, які називають ***люксметрами***. Світлочутливим елементом таких приладів є ***фотоелемент***.

У разі віддалення від джерела освітленість зменшується. Розрахунки й досліди показують, що для точкового джерела світла

освітленість E прямо пропорційна силі світла I джерела світла й обернено пропорційна квадратові відстані R до джерела: $E = \frac{I}{R^2}$.

Це співвідношення було встановлено на початку 17-го століття німецьким фізиком і астрономом Йоганном Кеплером.

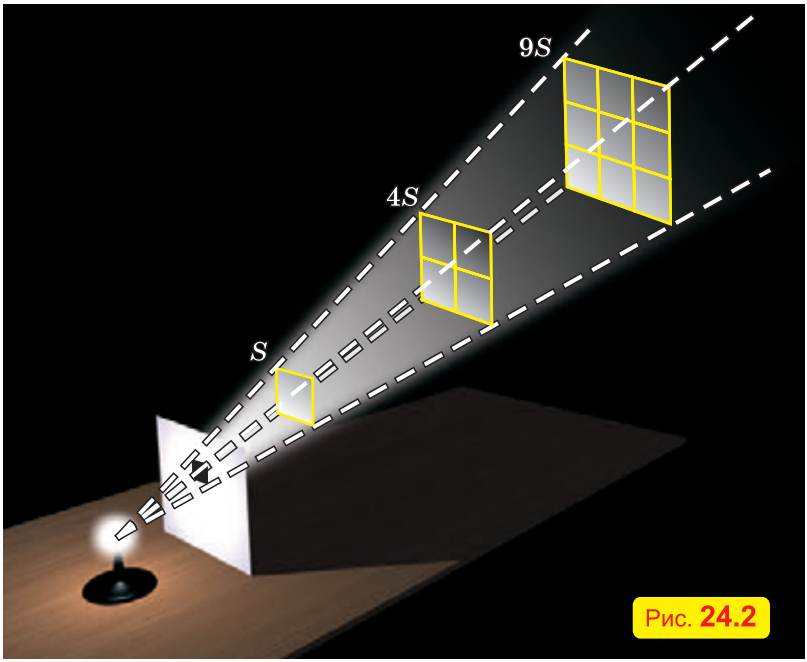


Рис. 24.2

У справедливості наведеного співвідношення легко переконатися, розглянувши так звану «світлову піраміду» із джерелом світла в її вершині (рис. 24.2).

Світло, що проходить крізь переріз S піраміди на одиничній відстані від джерела, проходить крізь площу $4S$ на подвоєній відстані, крізь площу $9S$ — на потроєній відстані тощо. А це й означає, що освітленість спадає обернено пропорційно квадратові відстані до джерела.

Наведений вираз для освітленості справедливий лише за умови, що джерело світла можна вважати точковим, тобто коли його розміри дуже малі порівняно з відстанню до нього.

ПРИКЛАДИ

Порівняємо освітленість на Землі та інших планетах. Найближча планета до Сонця, Меркурій, розташована майже в три рази ближче до Сонця, ніж Земля. Отже, освітленість на Меркурії майже в десять разів більша, ніж на Землі: уявіть собі, що в небі Меркурія світить ніби десять «земних» сонць відразу! У результаті поверхня Меркурія розжарюється меркуріанським днем до температури понад 400 °С!

А освітленість Плутона, розташованого майже в 40 разів далі від Сонця, ніж Земля, приблизно в 1600 разів менша, ніж освітленість Землі. Правда, астронавт, який висадився б на Плутоні, усе-таки не опинився б у повній темряві: і на такій величезній відстані Сонце «світить» набагато яскравіше, ніж Місяць на Землі навіть під час повні! А на Землі під час повні не так уже й темно.

3. ЯК ЗАЛЕЖИТЬ ОСВІТЛЕНІСТЬ ВІД КУТА ПАДІННЯ СВІТЛА?

Освітленість поверхні залежить не тільки від сили світла джерела та відстані до нього: вона ще залежить від кута падіння світла. І дуже істотно: саме цим, як ми зараз побачимо, зумовлено, наприклад, зміну пори року!

У разі збільшення кута падіння світла на поверхню її освітленість зменшується. Зрозуміло, що завдяки цьому

зменшується й енергія, що попадає на одиницю площі поверхні. Схема, наведена на рис. 24.3, пояснює, чому це відбувається.

У разі збільшення кута падіння площа поверхні, яку освітлює паралельний пучок світла, збільшується. А це означає, що енергія, яка припадає на одиницю площі, тобто освітленість поверхні, зменшується.

ЧОМУ ВЗИМКУ СОНЦЕ СВІТИТЬ, АЛЕ НЕ ГРІЄ?

Як ви вже знаєте з курсу природознавства, вісь добового обертання Землі нахилена до площини орбіти обертання Землі навколо Сонця. Через це опівдні в Північній півкулі влітку сонячний диск розташовано вище над обрієм, ніж узимку. Унаслідок цього освітленість земної поверхні влітку більша, ніж узимку. До того ж тривалість світлового дня влітку збільшується порівняно із зимою.

Ось чому влітку сонце пекуче, а взимку сонячні промені, що косо падають на поверхню Землі, та ще й протягом короткого зимового дня, світять, але майже не гріють. Наприклад, червневого полудня у Києві освітленість приблизно в три рази більша, ніж грудневого.

4. ЯК ПРАВИЛЬНО ВИБРАТИ ОСВІТЛЕННЯ?

Вибір правильного освітлення дуже важливий для продуктивного навчання, роботи, повноцінного відпо-

чинку. Та й настрій людини залежить від освітленості: яскраве світло створює зовсім інший настрій, ніж приглушене!

Для комфортного освітлення суттєво не тільки значення освітленості, але й те, які лампи використано, який колір стін і стелі.

Наприклад, очі дуже втомлюються від прямого світла, тому бажано використовувати абажури (рис. 24.4). Ідеальним варіантом освітлення приміщення вважають такий, коли прямого світла взагалі немає: світло ламп спрямоване на світлу стелю або стіни. Тоді в приміщенні рівне й м'яке світло, відбите від великої площі стелі (рис. 24.5).

Рис. **24.4**

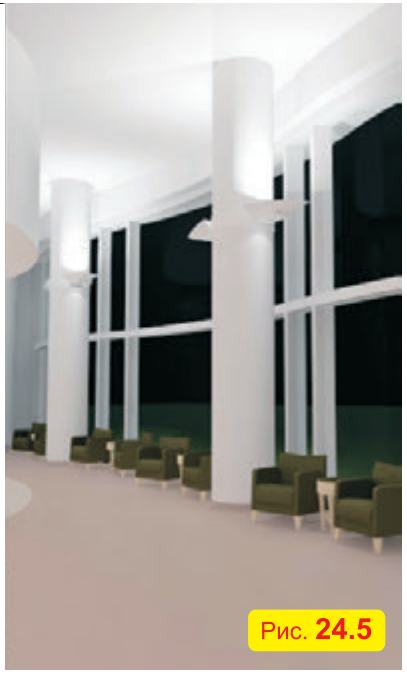


Рис. **24.5**

Освітленість книжкової сторінки має бути не меншою ніж 100 лк. Приблизно таку освітленість дає лампа розжарювання потужністю 60 Вт, розташована на відстані близько 70 см від книжки, коли промені світла перпендикулярні до сторінки. Але якщо промінь падає

на сторінку під кутом 45°, її освітленість зменшується майже в півтора раза! Тому для освітлення поверхні письмового столу треба використовувати або лампу розжарювання потужністю 75 Вт, або лампи інших типів, що дають таку саму освітленість.

Вивчення особливостей зорового сприйняття дозволило значно поліпшити умови роботи й навчання.

Так, було встановлено, що поверхня письмового столу має бути світлою, щоб вона не занадто відрізнялася від сторінок книжок і зошитів, тому що надмірний контраст викликає стомлення очей. Ось чому сьогодні поверхні парт і шкільних столів роблять світлими. Проте всього кілька десятиліть тому майже всі парти в школах були чорними!

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Що таке сила світла? Наведіть приклади сили світла різних джерел.
2. Що характеризує освітленість? Наведіть приклади освітленості.
3. Як і від чого залежить освітленість?
4. Як залежить освітленість від кута падіння світла?
5. Чому взимку сонце світить, але не гріє?
6. Як правильно вибрати освітлення?
7. Чому використовують абажури?
8. Як має бути освітлена поверхня письмового столу?

ГОЛОВНЕ В ЦЬОМУ РОЗДІЛІ

- Світло є різновидом електромагнітного проміння. Воно має властивості як хвиль, так і частинок. Швидкість світла становить близько 300 000 км/с.
- Світло освітлює й нагріває, а також може спричинювати хімічні реакції та електричний струм.
- Нагріті тіла, що випромінюють світло, називають тепловими джерелами світла, а тіла, що світяться за температури, близької до кімнатної, називають холодними джерелами світла.
- Джерела світла, створені природою, називають природними, а джерела світла, створені людиною, — штучними.
- Промінь світла — це лінія, уздовж якої поширюється світло. Частину оптики, яка вивчає хід променів світла, називають геометричною оптикою.
- Джерело світла, розмірами якого за конкретних умов можна знехтувати, називають точковим джерелом світла.
- У порожнечі (вакуумі) або однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.
- Частково освітлену область (площини або простору) називають півтінню.
- Сонячні затемнення відбуваються, коли Місяць опиняється між Сонцем і Землею та кидає на поверхню Землі тінь і півтінь.
- Закони відбивання світла: 1) відбитий промінь лежить у одній площині з променем, що падає, та перпендикуляром до дзеркала, поставленим у точці падіння променя; 2) кут відбивання дорівнює кутові падіння.
- Уявне зображення предмета в дзеркалі та сам предмет розташовані по різні боки від дзеркала на одній прямій, перпендикулярній до площини дзеркала, і на однакових відстанях від дзеркала. Розмір зображення предмета в дзеркалі дорівнює розміру самого предмета.

- Закони заломлювання світла: 1) заломлений промінь лежить у одній площині з променем, що падає, та перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точці падіння променя; 2) відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлювання для двох конкретних середовищ є сталою величиною: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n$. Величину n називають відносним показником заломлювання цих двох середовищ.
- Лінзи, що посередині товщі, ніж біля країв, називають опуклими, а лінзи, що посередині тонші, ніж біля країв, — увігнутими.
- Лінзу, що перетворює паралельний пучок променів у збіжний, називають збиральною, а лінзу, що перетворює паралельний пучок променів у розбіжний, — розсіювальною. Скляні опуклі лінзи — збиральні, а ввігнуті — розсіювальні.
- Відстань від площини лінзи до її фокуса називають фокусною відстанню лінзи та позначають F. Оптичною силою лінзи називають величину D, обернену до фокусної відстані лінзи: $D = 1/F$.
- Формула тонкої лінзи: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.
- Роль збиральної лінзи в оці виконують роговиця та кришталик.
- Далекозорість виправляють за допомогою окулярів зі збиральними лінзами, короткозорість — за допомогою окулярів із розсіювальними лінзами.
- Біле світло є складеним, тобто є сумішшю всіх кольорів веселки.
- Дисперсією світла називають залежність показника заломлювання світла від його кольору.
- Світіння джерела характеризують силою світла. Одиниця сили світла — кандела (кд).
- Освітленість E прямо пропорційна силі світла I джерела світла й обернено пропорційна квадратові відстані R до джерела: $E = \frac{I}{R^2}$.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ[1]

1. ФІЗИЧНИЙ КАБІНЕТ ТА ЙОГО ОБЛАДНАННЯ. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ У ФІЗИЧНОМУ КАБІНЕТІ

***Мета роботи*:** познайомитися з фізичним кабінетом і його обладнанням, вивчити правила виконування лабораторних робіт і правила безпеки під час проведення робіт.

ХІД РОБОТИ

1. Уважно вислухайте розповідь учителя про фізичний кабінет. Розгляньте обладнання та прилади, що показує вчитель, запишіть у зошит для лабораторних робіт їхні назви та призначення.

2. Прочитайте уважно наведені нижче

Правила виконування лабораторних робіт і правила безпеки під час їхнього проведення

- Перед виконанням лабораторної роботи чітко з'ясуйте порядок і правила її проведення.
- Розташуйте прилади, матеріали, обладнання на столі так, щоб запобігти їхньому падінню, перекиданню або роз'єднуванню сполучених частин.
- Під час вимірювання запобігайте зашкаленню вимірювальних приладів, бо це може їх пошкодити.
- Не залишайте своє місце без дозволу вчителя.
- Слідкуйте за справністю всіх кріплень приладів і пристроїв. Не торкайтесь до обертових частин машин та пристроїв і не нахиляйтесь над ними.
- Якщо для проведення лабораторної роботи потрібен електричний струм, умикайте джерело електричного струму тільки ретельно перевіривши, що все обладнання, потрібне для проведення лабораторної роботи, правильно та повністю зібрано.
- Не торкайтесь до елементів електричного кола, які не мають ізоляції та перебувають під напругою.

[1] До складу навчально-методичного комплекту «Фізика-7» входить зошит для лабораторних робіт, за допомогою якого вам буде зручніше виконувати ці роботи та робити записи. Деякі лабораторні роботи можна виконувати вдома. Розділ «Лабораторні роботи» написано разом з Л. А. Кириком.

- Після закінчення роботи, під час проведення якої використовувався електричний струм, спочатку вимкніть джерело електричного струму і тільки після цього розберіть електричне коло.
- Після закінчення лабораторної роботи чітко виконайте вказівки вчителя щодо прибирання обладнання та приладів.
- У разі травми або поганого самопочуття припиніть виконувати лабораторну роботу та повідомте вчителя.

2. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ. ВИЗНАЧЕННЯ ЦІНИ ПОДІЛКИ ПРИЛАДУ

***Мета роботи*:** познайомитися з найпростішими вимірювальними приладами, навчитися знаходити ціну поділки вимірювального приладу.

***Обладнання*:** лінійка, мензурка, термометр.

ХІД РОБОТИ

1. Запам'ятайте необхідні відомості про вимірювальний прилад, зокрема такі:

- назва приладу;
- правила користування приладом і техніки безпеки щодо цього приладу;
- яку фізичну величину та в яких одиницях вимірює прилад;
- межі виміру приладу, тобто мінімальне та максимальне значення фізичної величини, які може виміряти прилад;
- ціна поділки шкали приладу й абсолютна похибка виміру приладу, яка дорівнює половині ціни поділки шкали приладу.

2. Уважно ознайомтесь із запропонованими вам вимірювальними приладами (лінійкою, термометром і мензуркою) і заповніть у зошиті для лабораторних робіт наведену таблицю.

	Лінійка	Мензурка	Термометр
1. Фізична величина, яку вимірюють			
2. Одиниця величини			
3. Межі виміру			
4. Ціна поділки шкали приладу			
5. Абсолютна похибка виміру			

3. ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ

***Мета роботи*:** ознайомитися з приладами, призначеними для вимірювання часу, та навчитися вимірювати проміжки часу.

***Обладнання*:** метроном, пісковий годинник, секундомір, наручний годинник, будильник, тягарець і нитка для виготовлення маятника, штатив, лінійка.

Для вимірювання часу використовують явища й процеси, що повторюються через однакові проміжки часу.

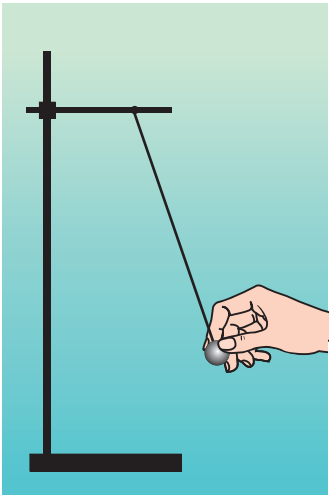
ХІД РОБОТИ

1. Розгляньте дію піскового годинника. Чому можна його використовувати для вимірювання часу? Запишіть відповідь на це запитання в зошит для лабораторних робіт.

2. Вимірте за допомогою наручного годинника або секундоміра проміжок часу, протягом якого пісок повністю пересипається з однієї частини піскового годинника в іншу. Запишіть результат у зошит для лабораторних робіт.

3. Вимірте за допомогою секундоміра або наручного годинника кількість ударів метронома за 1 хвилину. За цими даними знайдіть проміжок часу між двома послідовними ударами метронома. Запишіть результат у зошит для лабораторних робіт.

4. Знайдіть ціни поділок шкали секундоміра, наручного годинника і будильника. Зверніть при цьому увагу на те, що годинники мають кілька шкал. На якій шкалі найменша ціна поділки? Найбільша? Який з цих приладів є точнішим? Запишіть відповіді в зошит для лабораторних робіт.



5. Використовуючи штатив, тягарець і нитку, виготовте маятник так, щоб довжина нитки маятника була завдовжки 20–40 см. Вимірте довжину нитки маятника з точністю до сантиметра. Запишіть результат у зошит для лабораторних робіт.

6. Трохи відхиліть маятник від положення рівноваги (див. рисунок) та вимірте проміжок часу, протягом якого маятник зробить

20 повних коливань. Знайдіть тривалість одного коливання. Запишіть отримані результати в зошит для лабораторних робіт.

7. Використовуючи секундомір, вимірте частоту вашого пульсу (частотою пульсу називають кількість ударів за хвилину) й пульсу вашого сусіда по парті.

4. ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТІЛ ТА ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ

***Мета роботи*:** навчитися вимірювати лінійні розміри тіл і площу поверхні тіла.

***Обладнання*:** лінійка, нитка, 20 горошин.

ХІД РОБОТИ

1. Вимірте довжину, ширину та висоту вашого підручника фізики. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

2. Вимірте товщину паперового блока підручника (без обкладинки) і знайдіть кількість аркушів у книзі, використовуючи номери сторінок. За цими даними обчисліть товщину паперу. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

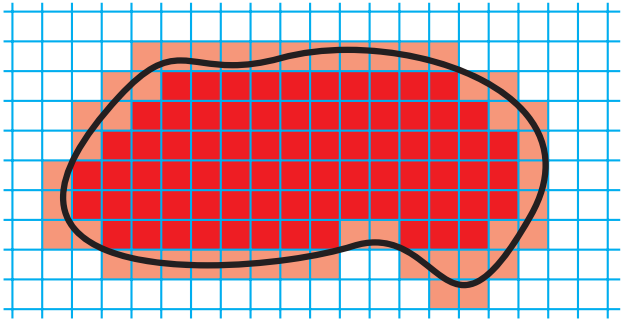
3. Покладіть упритул до лінійки ряд з 20 горошин. Вимірте довжину ряду l. Обчисліть діаметр однієї горошини за формулою $d = l/n$, де n — кількість горошин.

4. Вимірте лінійкою довжину та ширину вашої парти. Обчисліть площу поверхні парти. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

5. Накресліть у зошиті для лабораторних робіт плавну криву лінію довільної форми. За допомогою нитки та лінійки вимірте довжину накресленої лінії (з точністю до сантиметра).

6. Знайдіть за допомогою вимірювання й обчислювання площу $S_к$ однієї клітинки вашого зошита для лабораторних робіт.

7. Покладіть долоню на аркуш зошита й акуратно обведіть долоню олівцем, щоб утворився замкнутий контур. Підрахуйте та запишіть у зошит кількість клітинок N_1, розташованих повністю всередині контуру, і кількість клітинок N_2, які контур перетинає. Підрахуйте площу долоні S за формулою $S = (N_1 + N_2/2) \cdot S_к$. На рисунку для пояснення наведено приклад: клітинки, зафарбовані червоним, ураховують повністю, а зафарбовані рожевим — «наполовину». Запишіть результат у зошит для лабораторних робіт.



5. ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ

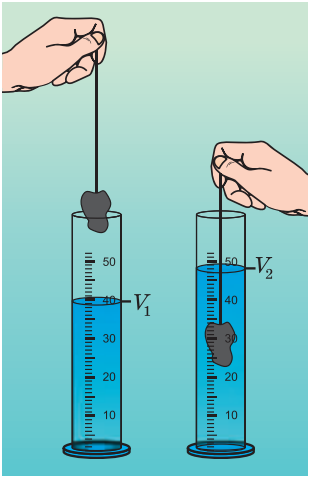
***Мета роботи*:** навчитися вимірювати об'єм твердих тіл правильної та неправильної форми, об'єм рідин і газів.

***Обладнання*:** лінійка, дерев'яний брусок, металева кулька, мензурка, посудина з водою, тіло неправильної форми, нитки, повітряна кулька, тонка трубочка.

ХІД РОБОТИ

1. Вимірте лінійні розміри дерев'яного бруска й обчисліть його об'єм. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

2. Вимірте радіус R металевої кульки в такий спосіб: покладіть її між двома паралельними брусками й вимірте відстань між брусками — вона дорівнює $2R$. Обчисліть об'єм кульки за формулою $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, де $\pi = 3{,}14$. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.



3. Налийте в мензурку воду приблизно до половини й вимірте об'єм налитої води V_1 з точністю до $1\ \text{см}^3$.

4. Занурте в мензурку тіло неправильної форми, підвішене на нитці. Вимірте сумарний об'єм V_2 тіла й води. Обчисліть об'єм тіла за формулою $V = V_2 - V_1$.

Повторіть цей дослід для металевої кульки. Порівняйте отримані ре-

зультати двох вимірювань об'єму кульки. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

5. Видаліть з повітряної кульки залишки повітря й вимірте об'єм її оболонки за допомогою мензурки з водою.

6. Прикріпіть до трубочки повітряну кульку, опустіть її в мензурку й потім трохи надуйте її (так, щоб рівень води в мензурці не піднявся вище краю шкали). Вимірте об'єм оболонки кульки разом з повітрям, що міститься в ній. Обчисліть об'єм повітря в кульці. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

6. ВИМІРЮВАННЯ МАСИ ТІЛ

***Мета роботи*:** навчитися вимірювати масу тіл за допомогою важільних терезів.

***Обладнання*:** важільні терези, набір гир, кілька невеликих тіл різної маси, посудина з водою, склянка, піпетка, пластилінові кульки.

ХІД РОБОТИ

1. Вивчить правила користування важільними терезами:

- перевірте, що терези зрівноважені. Для зрівноважування покладіть на одну з чашок смужки папера або картону;
- не зважуйте тіл, маса яких перевищує максимально допустиму для даних терезів (її вказано на терезах);
- дрібні гирі (масою менше 10 г) беріть пінцетом;
- тіло, яке ви зважуєте, кладіть на ліву чашку терезів, а гирі — на праву;
- зрівноваживши тіло, підрахуйте загальну масу гир на чашці терезів;
- перенесіть гирі з чашки терезів у футляр для гир і покладіть на призначені місця.

2. Вимірте масу запропонованих вам тіл. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

3. Вимірте масу пустої склянки. Потім налийте в склянку води й вимірте масу склянки з водою. Обчисліть масу води в склянці. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

4. Вилийте зі склянки воду в посудину з водою і накапайте в склянку за допомогою піпетки 100 крапель води. Вимірте масу склянки з водою. Виходячи з отриманих даних, знайдіть

масу однієї краплі. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

7. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ДИФУЗІЇ В РІДИНАХ І ГАЗАХ

***Мета роботи*:** експериментально дослідити явище дифузії.

***Обладнання*:** пахуча речовина (наприклад, одеколон) та барвник (наприклад, чорнило) для використання вчителем, посудина з водою.

ХІД РОБОТИ

1. Вимірте за допомогою наручного годинника проміжок часу, протягом якого запах пахучої речовини, налитої в блюдце на столі вчителя, досягне вас. Вимір запишіть у зошит для лабораторних робіт.

2. Спостерігайте, як доданий до води[1] барвник поступово забарвлює воду. Ваші спостереження стисло запишіть у зошит для лабораторних робіт.

8. ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ І РІДИН

***Мета роботи*:** навчитися вимірювати густину речовини.

***Обладнання*:** важільні терези, набір гир, лінійка, брусок, мензурка, склянка, тіло неправильної форми, посудина з рідиною невідомої густини.

ХІД РОБОТИ

1. Знайдіть об'єм V бруска за допомогою вимірювання та обчислення.

2. Вимірте масу m бруска.

3. Знайдіть густину ρ речовини, з якої виготовлено брусок. Результат запишіть у зошит для лабораторних робіт.

4. Вимірте в уже знайомий вам спосіб об'єм і масу тіла неправильної форми й обчисліть густину речовини, з якої виготовлено це тіло. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

5. Вимірте густину наданої вам рідини. Результат запишіть у зошит для лабораторних робіт.

[1] Барвник додає в посудину з водою вчитель.

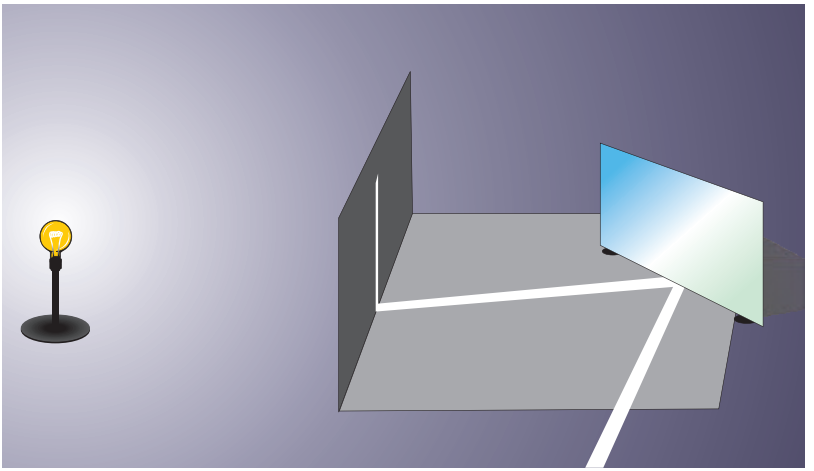
9. ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛОСКОГО ДЗЕРКАЛА

***Мета роботи*:** вивчити закони відбивання світла.

***Обладнання*:** лампочка на підставці, плоске дзеркало, екран зі щілиною, джерело електричного струму, лінійка, косинець, транспортир, з'єднувальні дроти.

ХІД РОБОТИ

1. Розташуйте на листі паперу екран зі щілиною та плоске дзеркало.



2. З'єднайте лампочку з джерелом електричного струму та розташуйте лампочку так, щоб освітлена смужка на папері була тонкою та добре помітною (див. рисунок).

3. Поставте на шляху пучка світла дзеркало під деяким кутом до пучка.

4. Відзначте олівцем на папері положення дзеркала й хід обох променів – того, що падає, і відбитого.

5. За допомогою косинця побудуйте перпендикуляр до дзеркала в точці падіння пучка світла.

6. Вимірте транспортиром кути падіння та відбивання світла. Порівняйте ці кути. Запишіть ваш висновок у зошит для лабораторних робіт.

7. Повторіть дослід тричі для різних кутів падіння світла. Результати та висновок запишіть у зошит для лабораторних робіт.

10. ВИМІРЮВАННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ТОНКОЇ ЛІНЗИ

***Мета роботи*:** навчитися вимірювати фокусну відстань збиральної лінзи.

***Обладнання*:** збиральна лінза, лампочка на підставці, екран, напрямна рейка, лінійка, джерело струму, з'єднувальні дроти.

ХІД РОБОТИ

1. Накресліть у зошиті хід променів у збиральній лінзі, коли вона дає дійсне зображення предмета. Позначте на схемі відстань d від лампочки до лінзи та відстань f від лінзи до зображення, а також фокусну відстань F збиральної лінзи.

2. Розмістіть лампочку на підставці, збиральну лінзу й екран уздовж напрямної рейки так, щоб на екрані з'явилося чітке перевернуте зображення лампочки.

3. Вимкнувши джерело струму, вимірте відстань d від лампочки до лінзи та відстань f від лінзи до зображення (до екрана). Обчисліть фокусну відстань F збиральної лінзи, використовуючи формулу лінзи. Результати запишіть у зошит для лабораторних робіт.

11. СКЛАДАННЯ НАЙПРОСТІШОГО ОПТИЧНОГО ПРИЛАДУ

***Мета роботи*:** навчитися збирати перископ і користуватися ним.

***Обладнання*:** штатив із двома лапками (обв'язаними поролоном або м'якою тканиною) та два однакових дзеркальця прямокутної форми, закріплені в цих лапках.

ХІД РОБОТИ

1. Накресліть у зошиті для лабораторних робіт хід променів у перископі, знайшовши відповідний матеріал у підручнику. Знайдіть, як треба розташувати дзеркала в перископі, щоб вхідний і вихідний промені йшли горизонтально.

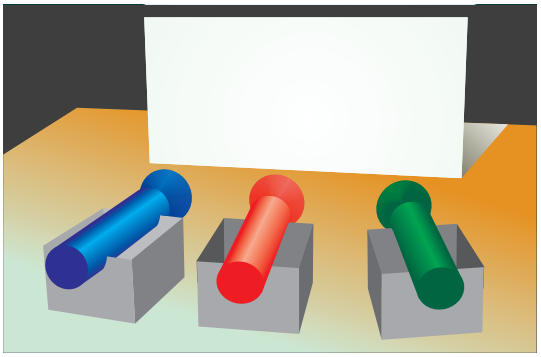
2. Повертаючи лапки з дзеркалами, розташуйте дзеркала відповідно до схеми перископа, зображеної в зошиті. Дивлячись у нижнє дзеркало, ви маєте побачити в ньому зображення верхнього дзеркала, а в тому — зображення розташованих перед ним предметів.

3. Стисло поясніть поставлений дослід у зошиті для лабораторних робіт.

12. УТВОРЕННЯ КОЛЬОРОВОЇ ГАМИ СВІТЛА ШЛЯХОМ НАКЛАДАННЯ ПРОМЕНІВ РІЗНОГО КОЛЬОРУ[1]

***Мета роботи*:** створення кольорової гами шляхом накладання променів різного кольору.

***Обладнання*:** три ліхтарики зі світлофільтрами (червоним, зеленим і синім) на підставках, за допомогою яких світло ліхтариків можна спрямувати горизонтально, білий екран.



ХІД РОБОТИ

1. Освітіть екран кожним з ліхтариків окремо. Опишіть, якого кольору буде екран у кожному випадку, та стисло поясніть це в зошиті для лабораторних робіт.

2. Освітіть екран парами ліхтариків (3 варіанти). Опишіть, якого кольору буде екран у кожному випадку, та стисло поясніть це в зошиті для лабораторних робіт.

3. Спробуйте підібрати відстані від ліхтариків до екрана так, щоб освітлений усіма трьома ліхтариками екран здавався якомога білішим. Поясніть стисло цей дослід у зошиті для лабораторних робіт.

[1] Цю роботу бажано виконувати вчотирьох, тому вказане обладнання дають на 2 парти.

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

Знайдіть масу повітря в кімнаті, довжина, ширина та висота якої становлять відповідно 5 м, 4 м та 3 м. Прийміть, що за кімнатної температури густина повітря дорівнює $1{,}2\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Дано:	***Розв'язання:***
$a = 5$ м $b = 4$ м $c = 3$ м $\rho = 1{,}2\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V$ $V = abc$ $m = \rho abc$
m — ?	

Перевіримо одиницю шуканої величини:

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

Отже, $m = 1{,}2 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 = 72$ (кг).

Відповідь: 72 кг.

ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Акомодація 161
Ампер Андре Марі 33
Арістотель 15
Архімед 41, 133
Атмосфера 78
Атоми 30, 62
Атомна одиниця маси 64

***Б**роун Роберт* 30, 70
Броунівський рух 70

Величини векторні 22
— скалярні 20
— фізичні 20
Веселка 180
Відбиття світла 128
— — дзеркальне 129
— — розсіяне 131
Відстань найкращого зору 162

Гази 78
Галактики 29
Геометрична оптика 117
Герон 132
Гідроелектростанція 38
Головна оптична вісь лінзи 151
Гук Роберт 45
Густина речовини 88
Гюйгенс Хрістіан 28, 44

***Ґ**алілей Ґалілео* 9, 15, 28, 44
Ґамов Джордж (Георгій Антонович) 56

Далекозорість 168
Демокріт 62
Деформація 31
Джерела світла 108
— — природні 112
— — протяжні 118
— — теплові 108
— — точкові 19, 118
— — холодні 110
— — штучні 112
Джоуль — одиниця роботи і енергії 37
Джоуль Джеймс Прескотт 37
Динамометр 24
Дисперсія світла 177
Дифузія 72
Дослід 16

***Е**йнштейн Альберт* 10, 34
Електрика 12, 46
Електростанції атомні 47
— теплові 46
Енергія 38
— кінетична 39
— потенціальна 39
Ерстед Ганс Хрістіан 33

Закон всесвітнього тяжіння 34
— збереження енергії 40
Закони відбивання світла 130
— заломлювання світла 144
Заломлення світла 142
— — в призмі 146
Затемнення місячне 125
— сонячне 124
— — повне 124
— — часткове 124
Зір 104
— бінокулярний 165
Зображення в дзеркалі 134
— — лінзі 154
— — — дійсне 155
Зображення уявне 134
— — в лінзі 155
Золоте правило механіки 36

Інтернет 48

Кандела 184
Кеплер Йоганн 186
Кіноапарат 163
Кольори доповняльні 182
Комп'ютер 48
Кондратюк Юрій Васильович 55
Корольов Сергій Павлович 57
Короткозорість 168
Кристали 92
Кристалічні ґратки 92
Кришталик 161
Кругообіг води в природі 9
Кулон Шарль Огюстен 33
Кут відбивання 130
— заломлювання 144
— падіння 130, 144

Лампи безтіньові 126
Ландау Лев Давидович 57
Лашкарьов Вадим Євгенович 56
Лінзи 150
— збиральні 152
— опуклі 150
— розсіювальні 152
— увігнуті 150
Лупа 170, 174
Люксметр 186

Магнетизм 12
Макросвіт 28
Максвелл Клерк Джеймс 33
Маса 23
Матеріальна точка 19
Мегасвіт 28
Межа акомодації 162
Механіка 9
Механічна робота 37
Механічні явища 8
Мікросвіт 30
Мікроскоп 171
Міражі 147
Мобільний телефон 48
Моделі фізичні 18
Модуль векторної величини 22
Молекули 10, 64
Молекулярна фізика 10
Молекулярно-кінетична теорія 76

Науковий метод 18
Ньютон — одиниця сили 24
Ньютон Ісак 9, 34

Об'єктив 171, 172
Око 160
Окуляр 171, 172
Оптика 13
Оптична сила лінзи 153
Оптичний центр лінзи 151
Оптичні ілюзії 165
Освітленість 185
Основні елементи лінзи 150
Охорона довкілля 49

***П**атон Борис Євгенович* 58
Патон Євген Оскарович 54
Переміщення 22
Перископ 136
Півтінь 123
Пільчиков Микола Дмитрович 53
Площина лінзи 151
Побудова зображення в лінзі 154
Повне внутрішнє відбиття 149
Показник заломлювання 144
Потужність 43
Приймачі світла 113
Прилади вимірювальні 26
Проекційний апарат 163
Проміння інфрачервоне 115
Проміння ультрафіолетове 115
Промінь світла 19
Пулюй Іван Павлович 52

***Р**езерфорд Ернест* 68
Ремер Оле 120
Рідини 84
Рідинні кристали 95
Роговиця 161

Світловий рік 27
Світлові промені 116
— пучки 116
Світні організми 111, 114
Сила 24
— пружності 31
— світла 184
— тертя 31
— тяжіння 24, 34
Сили електричні 32
— магнітні 33
— ядерні 35
Симетрія 141
Синус 144
Сікорський Ігор Іванович 54
Сітківка 161
Смакула Олександр Теодорович 55
Спостереження 14
Супутники зв'язку 48

Телевізор 181
Телескоп 172
Термодинаміка 10
Термоядерний синтез 50
Тіла аморфні 93
— тверді 90
Тіло фізичне 6

***У**мов Микола Олексійович* 53

***Ф**алес* 126
Фарадей Майкл 33
Фокус лінзи 152
Фокусна відстань лінзи 153
Формула тонкої лінзи 158
Фотоапарат 162
Фотоелемент 113, 186

Ціна поділки приладу 26

Чорна діра 106
Чумацький шлях 28

Швидкість 22

***Ю**нг Томас* 183
Юпітер 28, 120

Явища електричні 10
— електромагнітні 11
— магнітні 10
— оптичні 12
— теплові 9

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ПОЧИНАЄМО ВИВЧАТИ ФІЗИКУ

§ 1. ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ 6
1. Фізичні тіла *(6)*. 2. Механічні явища *(8)*. 3. Теплові явища *(9)*. 4. Електричні та магнітні явища *(10)*. 5. Оптичні явища *(12)*

§ 2. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ДОСЛІД 14
1. Спостереження — пошук закономірностей *(14)*. 2. Від спостережень — до дослідів *(15)*. 3. Що таке науковий метод? *(18)*

§ 3. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ 20
1. Найважливіші фізичні величини *(20)*. 2. Вимірювальні прилади *(26)*

§ 4. МАКРОСВІТ, МЕГАСВІТ І МІКРОСВІТ. ВЗАЄМОДІЇ ТА СИЛИ 28
1. Макросвіт, мегасвіт і мікросвіт *(28)*. 2. Взаємодії в макросвіті *(31)*. 3. Взаємодії в мегасвіті *(34)*. 4. Взаємодії в мікросвіті *(35)*

§ 5. ЕНЕРГІЯ 36
1. Механічна робота *(36)*. 2. Енергія *(38)*

§ 6. ЯК ФІЗИКА ЗМІНЮЄ СВІТ 44
1. Приклад застосування фізичних відкриттів: історія годинника *(44)*. 2. Нові джерела енергії *(46)*. 3. Нові засоби зв'язку *(48)*. 4. Охорона довкілля *(49)*

§ 7. ВИДАТНІ ВЧЕНІ — НАШІ СПІВВІТЧИЗНИКИ 52

РОЗДІЛ 2. БУДОВА РЕЧОВИНИ

§ 8. АТОМИ ТА МОЛЕКУЛИ 62
1. Атоми *(62)*. 2. Молекули *(64)*. 3. Розміри молекул і атомів *(65)*

§ 9. РУХ І ВЗАЄМОДІЯ МОЛЕКУЛ 70
1. Рух молекул *(70)*. 2. Взаємодія молекул *(74)*. 3. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії *(76)*

§ 10. ГАЗИ 78
1. Властивості газів *(78)*. 2. Молекулярна будова газів *(82)*

§ 11. РІДИНИ 84
1. Властивості рідин *(84)*. 2. Молекулярна будова рідин *(87)*. 3. Густина речовини *(88)*

§ 12. ТВЕРДІ ТІЛА 90
1. Властивості твердих тіл *(90)*. 2. Кристали *(92)*. 3. Аморфні тіла *(93)*

РОЗДІЛ 3. СВІТЛОВІ ЯВИЩА

§ 13. ВЛАСТИВОСТІ Й ДІЇ СВІТЛА 100
1. Найлегше, найшвидше й... наймогутніше! *(100)*. 2. Як світло діє на навколишні тіла? *(103)*. 3. Що нам дарує зір? *(104)*

§ 14. ДЖЕРЕЛА ТА ПРИЙМАЧІ СВІТЛА 108
1. Джерела світла *(108)*. 2. Приймачі світла *(113)*

§ 15. ПРЯМОЛІНІЙНІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА 116
1. Світлові пучки та світлові промені *(116)*. 2. Точкові та протяжні джерела світла *(118)*. 3. Прямолінійність поширення світла *(119)*

§ 16. ТІНЬ І ПІВТІНЬ 122
1. Тінь і півтінь *(122)*. 2. Сонячні та місячні затемнення *(124)*

§ 17. ВІДБИТТЯ СВІТЛА 128
1. Чому ми бачимо предмети? *(128)*. 2. Дзеркальне відбиття *(129)*. 3. Розсіяне відбиття *(131)*

§ 18. ЗОБРАЖЕННЯ В ДЗЕРКАЛІ 134
1. Як виникає зображення в дзеркалі? *(134)*.
2. Де розташовано зображення в дзеркалі? *(135)*.
3. Де і як застосовують дзеркала? *(136)*

§ 19. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА 142
1. Спостереження та прості досліди *(142)*.
2. Закони заломлювання світла *(144)*. 3. Заломлення світла в призмі *(146)*

§ 20. ЛІНЗИ 150
1. Основні елементи лінзи *(150)*. 2. Збиральна та розсіювальна лінзи *(152)*. 3. Фокусна відстань і оптична сила лінзи *(153)*. 4. Побудова зображення в лінзі *(154)*

§ 21. ОКО, ФОТОАПАРАТ І КІНОАПАРАТ 160
1. Око *(160)*. 2. Фотоапарат *(162)*. 3. Кіноапарат і проектор *(163)*

§ 22. ПОМІЧНИКИ ОКА 168
1. Вади зору та їхнє виправлення *(168)*. 2. Лупа *(170)*.
3. Як улаштовано мікроскоп? *(171)*. 4. Як улаштовано телескоп? *(172)*

§ 23. ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. КОЛІР 176
1. Дослід Ньютона з призмою. Дисперсія світла *(176)*.
2. Як око розрізняє кольори? *(178)*. 3. Чому листя зелене, а троянда червона? *(178)*

§ 24. СИЛА СВІТЛА Й ОСВІТЛЕНІСТЬ 184
1. Сила світла *(184)*. 2. Освітленість *(185)*. 3. Як залежить освітленість від кута падіння світла? *(187)*. 4. Як правильно вибрати освітлення? *(188)*

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ 193
ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ 203
ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК 204

Навчальне видання

Генденштейн Лев Елевич

ФІЗИКА

Підручник для 7 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

2-ге видання, перероблене й доповнене

Науковий редактор *М. Д. Гінзбург*
Художній редактор *О. С. Юхтман*
Художник обкладинки *О. С. Юхтман*
Ілюстрації: *Ю. О. Корчмар, Л. Е. Генденштейн*
Коректор *Г. Ф. Висоцька*

Підписано до друку 11.10.2010 р.
Формат 60×90 $^{1}/_{16}$. Папір офсетний. Гарнітура Шкільна.
Ум. друк. арк. 15,00. Обл.-вид. арк. 10,72.

ТОВ ТО «Гімназія»,
вул. Восьмого Березня, 31, м. Харків 61052
Тел.: (057) 719-17-26, (057) 719-46-80, факс: (057) 758-83-93
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 644 від 25.10.2001

Надруковано з діапозитивів, виготовлених ТОВ ТО «Гімназія»,
у друкарні ПП «Модем»,
вул. Восьмого Березня, 31, м. Харків 61052
Тел. (057) 758-15-80
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ХК № 91 від 25.12.2003