В. Д. Сиротюк

ФІЗИКА

9

В.Д. СИРОТЮК

ФІЗИКА

Підручник для 9 класу загальноосвітніх навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Київ
«ГЕНЕЗА»
2017

УДК 53(075.3)
С40

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ Міністерства освіти і науки України від 20.03.2017 № 417)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Експерти, які здійснили експертизу підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для 9-го класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

Плічко Л.О., учитель фізики Онуфріївської загальноосвітньої школи I–III ступенів Онуфріївської районної ради Кіровоградської області, старший учитель;

Толпекіна Г.М., доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського», кандидат педагогічних наук;

Ятвецький В.М., учитель-методист, старший викладач кафедри природничо-математичних дисциплін та інформаційних технологій Одеського обласного інституту удосконалення вчителів.

Сиротюк В.Д.

С40 Фізика : підруч. для 9-го кл. загальноосвіт. навч. закл. / В.Д. Сиротюк. – Київ : Генеза, 2017. – 248 с. : іл.

ISBN 978-966-11-0852-2.

Матеріал підручника відповідає новій програмі з фізики. Пояснення навчального матеріалу супроводжується прикладами спостережень, дослідів та практичних завдань, а завершується запитаннями для самоперевірки. У підручнику є 7 лабораторних робіт, фізичні задачі різних рівнів складності, творчого характеру та практичного спрямування, тестові завдання. Рубрики «Для допитливих» та «Це цікаво знати» сприяють підвищенню інтересу учнів до предмета. Словник фізичних термінів допоможе зорієнтуватися у формулюванні фізичних явищ та величин.

УДК 53(075.3)

© Сиротюк В.Д., 2017
© Видавництво «Генеза», оригінал-макет, 2017

ISBN 978-966-11-0852-2

ЮНІ ДРУЗІ!

Ви щойно розгорнули підручник, з яким працюватимете протягом навчального року. Сподіваємося, що він буде добрим помічником в опануванні фізики – науки про все багатство явищ навколишнього світу.

Вивчення фізики – це нелегка праця, адже шлях у науку завжди важкий. Радість пізнання дається тільки як нагорода за перемогу над труднощами, її можна порівняти з почуттям альпініста, який підкорив вершину.

Будьте наполегливими та уважними. Намагайтесь якомога краще засвоїти навчальний матеріал. Частіше обмінюйтесь думками щодо прочитаного зі своїми товаришами. Для з'ясування важких і спірних питань звертайтесь, у першу чергу, до вчителя, а також використовуйте додаткові джерела інформації – довідники, енциклопедії, Інтернет тощо. Для перевірки правильності розуміння вивченого матеріалу корисно обговорювати повідомлення, доповіді учнів та ін.

У 9-му класі ви вивчатимете магнітні і світлові явища, механічні і електромагнітні хвилі, фізику атома й атомного ядра, фізичні основи атомної енергетики, взаємодію тіл, закони збереження, ознайомитеся з основними законами механіки, оптики, атомної фізики. Теоретичний матеріал цього підручника допоможе вам зрозуміти й пояснити відповідні процеси та явища, закони і теорії. Звертайте увагу на текст, виділений **жирним** шрифтом. Це фізичні терміни, означення, важливі правила і закони, які треба запам'ятати і вміти застосовувати.

Підручник містить багато ілюстрацій, у ньому подано досліди, які ви можете виконати самостійно або з допомогою вчителя. Вони допоможуть глибше зрозуміти фізичний зміст явищ, що вивчаються. Рубрика **«Історична довідка»** розширить ваш кругозір.

Наприкінці кожного параграфа є **«Запитання до вивченого»**, відповіді на які допоможуть вам перевірити, як ви засвоїли матеріал, а також закріпити свої знання. Деякі запитання мають творчий характер і для відповіді потребують умінь аналізувати умови завдання, а також простежувати логічну послідовність і зв'язки в перебігу фізичних явищ.

У рубриці **«Розв'язуємо разом»** наведено зразки розв'язування найважливіших видів задач. Підручник містить задачі, вправи і запитання різних рівнів складності: А – на закріплення і Б – творчого характеру.

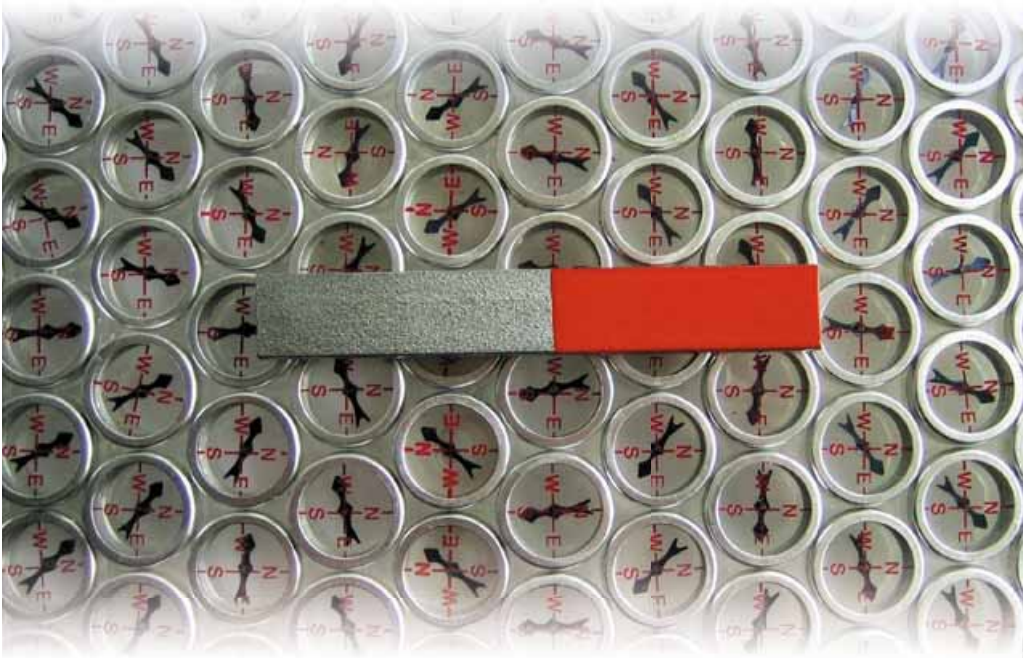
Сім **лабораторних робіт**, які ви виконаєте, сприятимуть поглибленому розумінню закономірностей фізичних явищ та навчать виконувати досліди й безпечно користуватися приладами. Тим, хто хоче знати більше, стане в пригоді інформація з рубрики **«Це цікаво знати»**.

Якщо виникне потреба дізнатися про якийсь фізичний термін або правило, скористайтеся **«Словником фізичних термінів»** та *предметно-іменним покажчиком*, що містяться в кінці підручника. Рубрика **«Фізичні задачі навколо нас»** містить задачі з проблемними ситуаціями з повсякденного життя. Щоб виконати такі завдання, потрібно застосувати фізичні знання в життєвих ситуаціях.

Виконуючи спостереження і досліди з фізики, будьте уважними, додержуйтеся правил безпеки життєдіяльності.

Щасливої вам дороги до знань!

Розділ 1
МАГНІТНІ ЯВИЩА



• Магнітні явища • Постійні магніти • Взаємодія магнітів • Магнітне поле • Магнітне поле Землі • Дослід Ерстеда • Індукція магнітного поля • Магнітні властивості речовин • Гіпотеза Ампера • Магнітне поле провідника зі струмом • Електромагніти • Дія магнітного поля на провідник зі струмом • Сила Ампера • Електричні двигуни • Електровимірювальні прилади • Явище електромагнітної індукції • Досліди Фарадея • Індукційний електричний струм • Генератори індукційного струму • Промислові джерела електричної енергії

§ 1. МАГНІТНІ ЯВИЩА. ПОСТІЙНІ МАГНІТИ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ

У 8-му класі ви вивчали явища, пов'язані із взаємодією електричних зарядів з електричним полем. Електрична взаємодія є складовою ширшого класу **електромагнітних взаємодій**, до якого належить також **магнітна взаємодія**. З магнітною дією електричного струму ви ознайомилися, коли вивчали матеріал § 25 (8-й клас).

Люди здавна знали, що деякі руди притягують до себе залізні предмети. Це явище назвали **магнетизмом**, а шматки магнітних руд – природними **магнітами**. Природним магнітом є залізна руда (магнітний залізняк). Саме завдяки йому люди вперше ознайомилися з магнітними властивостями тіл. Значні поклади магнітного залізняку в Україні є в Дніпропетровській та Запорізькій областях.

Магніт (з грец. дослівно означає *камінь з Магнесії*; за назвою міста, поблизу якого вперше було знайдено поклади магнітного залізняку) – це **тіло, яке має магнітні властивості**. Згодом навчилися виготовляти штучні **постійні магніти** різноманітної форми та розмірів залежно від їх призначення. Постійними їх називають тому, що вони необмежено довго зберігають свої магнітні властивості, на відміну від **електромагнітів** (їх вивчатимемо пізніше), які можна вмикати і вимикати.

У техніці та в лабораторній практиці часто застосовують штабові (прямі) і підковоподібні магніти (мал. 1).

Мал. 1

Дослід 1. Покладемо на стіл предмети, які виготовлено з різних речовин. Наблизимо до них магніт. Циркуль, цвяхи, голки, сталева пластинка притягнуться до магніту (мал. 2), а гумка, сірники, алюмінієва фольга, пластикові ковпачки від ручок залишаться лежати на столі.

Мал. 2

Мал. 3

Предмети, що містять у собі залізо, сталь, нікель, чавун або їх сплави, притягуються магнітом. Ці речовини належать до класу феромагнетиків (лат. *ferrum* – «залізо»). Папір, скло, пластмаса, мідь магнітом не притягуються.

Магніти можуть притягувати предмети через аркуш картону або скло (мал. 3).

Мал. 4

Дослід 2. На столі лежать цвяхи і скріпки. Піднесемо до них магніти. Як бачимо, найбільше цвяхів і скріпок притягнулося до кінців магнітів (мал. 4).

Місця магніту, де магнітна дія виявляється найсильнішою, називають *полюсами магніту*.

Що далі від полюсів розміщена ділянка магніту, то слабкіша в неї магнітна дія, то менше цвяхів і скріпок до неї притягнулося, а в середній частині їх зовсім немає.

Ділянку магніту, де не виявляється його магнітна дія, називають *середньою лінією магніту*.

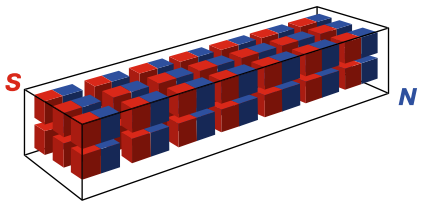
Дослід 3. Підвісимо на нитці магніт так, щоб він перебував у горизонтальному положенні й міг вільно повертатися. Якщо поряд немає предметів, виготовлених із феромагнетиків, які сильно взаємодіють із магнітами, то магніт завжди займатиме одне й те саме положення в напрямку північ–південь (мал. 5). Це пов'язано з тим, що Земля має два магнітних полюси. На цьому базується дія компаса.

Полюс магніту, напрямлений на північ, називають **північним** (N, від англ. *North*), напрямлений на південь – **південним** (S, від англ. *South*).

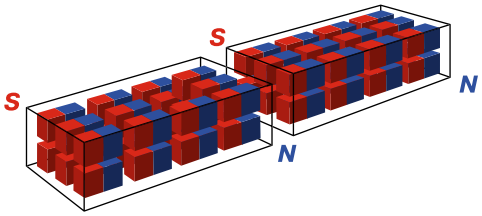
Найчастіше демонстраційні та лабораторні магніти, а також магнітні стрілки фарбують у два кольори: спрямований у бік північного полюса (N) – синім, у бік південного (S) – червоним. Межа пофарбування збігається із середньою лінією. *А чи може магніт мати один полюс?*

Мал. 5

Дослід 4. Розріжемо магніт на дві частини, намагаючись відокремити південний полюс від північного. Але переконуємося, що одержали два магніти, знову з обома полюсами кожний (мал. 6). Це пояснюється тим, що кожний магніт складається з великої кількості маленьких магнітів, які завжди мають два полюси (мал. 7).



Мал. 6



Мал. 7

Будь-який магніт обов'язково має два полюси: північний і південний.

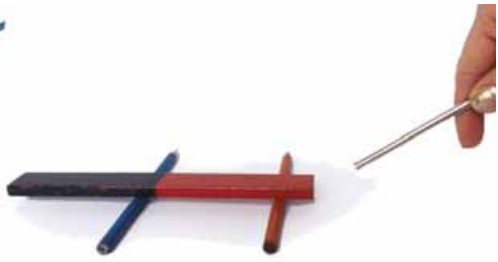
У техніці використовують складні магніти, що мають парне число полюсів, які чергуються (N–S–N–S). Наприклад, магніт велосипедного генератора має 8 полюсів (4 північних і 4 південних, мал. 8).

Орієнтування шматочків природних магнітів і постійних штучних магнітів у напрямі з півночі на південь свідчить про те, що Земля має магнітні властивості. Про це довідалися з даних, зібраних протягом багатьох століть, упродовж яких мореплавці та мандрівники вивчали магнітні властивості Землі в різних географічних пунктах. Мандруючи, люди поступово зібрали багато інформації про напрямок стрілки компаса в різних місцях земного суходолу й поверхні Світового океану.

Мал. 8

Дослід 5. Піднесемо до полюсів магніту магнітну стрілку. Північний полюс стрілки відштовхується від північного полюса магніту й притягується до південного. Південний полюс стрілки відштовхується від південного полюса й притягується до північного (мал. 9).

Мал. 9



Мал. 10

Дослід 6. Піднесемо магніти один до одного північними, а потім південними полюсами. Магніти взаємодіють між собою, при цьому їх різнойменні полюси притягуються, а однойменні – відштовхуються.

Покладемо на олівці магніт (мал. 10). До магніту наблизимо південний (північний) полюс іншого магніту. Ми бачимо, що магніти також взаємодіють між собою подібним чином – притягуються або відштовхуються.

Різнойменні магнітні полюси двох магнітів притягуються, а одноймен-ні – відштовхуються.

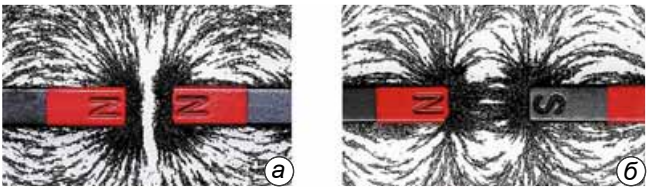
Магніти взаємодіють між собою тому, що навколо будь-якого магніту існує магнітне поле. З одного боку, магнітне поле одного магніту діє на інший магніт; з другого – магнітне поле іншого магніту діє на перший.

Існування магнітного поля навколо магніту можна виявити різними способами. Один з них полягає у використанні дрібних залізних ошурок (метод спектрів).

Мал. 11

Дослід 7. Візьмемо підковоподібний магніт. Накриємо його шматком скла або картону. На скло насиплемо тонкий шар залізних ошурок і легенько постукаємо по склу. Під дією магнітного поля магніту залізні ошурки розміщуються навколо магніту не безладно, а у вигляді замкнених ліній, які називають **лініями магнітного поля**, або **магнітними лініями** (мал. 11, *а*).

Лінії магнітного поля – це уявні замкнені лінії, які виходять з північного полюса магніту й входять у південний, замикаючись усередині магніту (мал. 11, *б*).



Мал. 12

Напрямок, який показує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці поля, прийнято за напрямок магнітної лінії в цій точці. Той факт, що в кожній точці магнітного поля магнітна стрілка має єдиний певний напрямок, означає, що магнітні лінії не перетинаються. Малюнок 12 дає уявлення про картину магнітного поля різних магнітів. На малюнку 12, *а* зображено розподіл залізних ошурок у магнітному полі двох магнітів, повернутих один до одного однойменними полюсами, а на малюнку 12, *б* – двох магнітів, повернутих один до одного різнойменними полюсами.

Ще в 1269 р. француз **П'єр Перегрін** написав книжку «Листи про магніти». У ній було описано майже всі відомі на той час властивості магні-

тів. Учений установив, що якщо сталеву спицю потерти природним магнітом, то вона стане магнітом, або, як кажуть, намагнітиться. Такі тіла також називають магнітами.

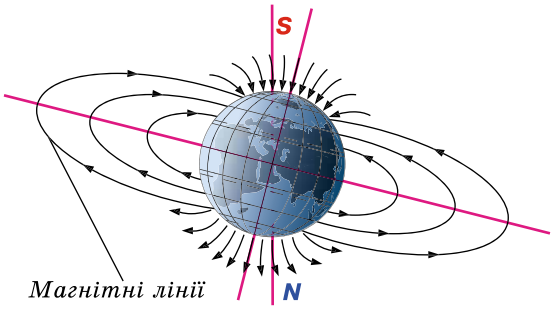
Кожний з вас може зробити магніт у себе вдома. Для цього потрібно магнітом провести кілька разів уздовж залізного стержня (мал. 13, *а*). Стержень виявиться намагніченим. Так само можна намагнітити викрутку, поклавши її на штабовий магніт (мал. 13, *б*). Вона намагнітиться і буде притягувати залізні предмети (мал. 13, *в*).

Мал. 13

Залізні або сталеві тіла також стають магнітами, якщо їх помістити в котушку ізольованого дроту, по якому проходить електричний струм. Що при цьому відбувається, розглянемо трохи згодом.

У 1595 р. англійський фізик **Вільям Гільберт** виготовив із природного магніту (магнетиту, мал. 14) кулю й помітив, що в цій кулі два полюси, а магнітна стрілка встановлюється з півночі на південь. Тоді вчений припустив, що Земля є великим магнітом (мал. 15). Пізніші дослідження підтвердили це припущення.

Мал. 14

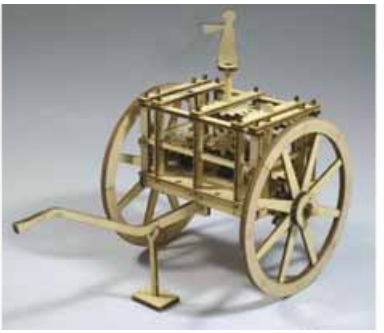


Мал. 15

Навколо Землі існує магнітне поле, яке умовно зображують магнітними лініями. У кожній точці однорідного магнітного поля магнітні стрілки встановлюються вздовж магнітних ліній, а в неоднорідному — по дотичних до них.

На цьому явищі ґрунтується застосування **компаса**. Будь-який компас складається з магнітної стрілки, яка може вільно обертатися на осі (мал. 16), і шкали, на якій нанесено поділки та основні сторони світу. Стрілка компаса може бути пофарбована в синьо-червоний колір або на ній може бути нанесено мітку (синій кінець і мітка вказують на північний напрямок).

Мал. 16



Мал. 17

Мал. 18

Користуватися компасом першими почали китайці понад 4 тис. років тому. На малюнку 17 ви бачите такий пристрій, а на малюнку 18 – сучасний компас, який використовують моряки на своїх кораблях.

На малюнку 15 схематично зображено магнітні лінії поля Землі. Як видно з малюнка, **поблизу Північного географічного полюса розміщений Південний магнітний полюс**, у який лінії входять, а **поблизу Південного географічного полюса – Північний магнітний полюс**, з якого лінії виходять. Дослідження намагніченості гірських порід показали, що магнітні полюси, а разом з ними й магнітне поле Землі із часом переміщуються, причому це переміщення дуже складне.

Магнітні полюси Землі не збігаються з її географічними полюсами.

У зв'язку із цим напрямок магнітної стрілки не збігається з напрямком географічного меридіана. Ось чому магнітна стрілка компаса лише приблизно показує напрям на північ.

Коли активність Сонця підвищується, то з його поверхні в космос викидаються потоки заряджених частинок. Магнітне поле, що утворюється цими рухомими частинками, змінює магнітне поле Землі та спричиняє **магнітну бурю**. Під час неї порушується радіозв'язок, у людей може погіршуватися самопочуття, на Півночі спостерігається полярне сяйво тощо.

Земний магнетизм ще остаточно не пояснено, тому вивченню магнітного поля Землі приділяють велику увагу під час польотів штучних супутників і космічних кораблів. Установлено, що земне магнітне поле надійно захищає поверхню Землі від космічного випромінювання, дія якого на живі організми в більшості є руйнівною.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які тіла називають постійними магнітами?
2. Що називають магнітними полюсами магніту?
3. Назвіть відомі вам речовини, що притягуються магнітом.
4. Як взаємодіють між собою полюси магніту?
5. Що існує навколо магнітів? У чому це проявляється?
6. Поясніть, що таке магнітні лінії постійного магніту.
7. Розкажіть, як можна виготовити магніт.
8. Візьміть магніт, у якого невідомо, де північний і південний полюси. Як визначити ці полюси, якщо у вас є магніт з відомими полюсами?

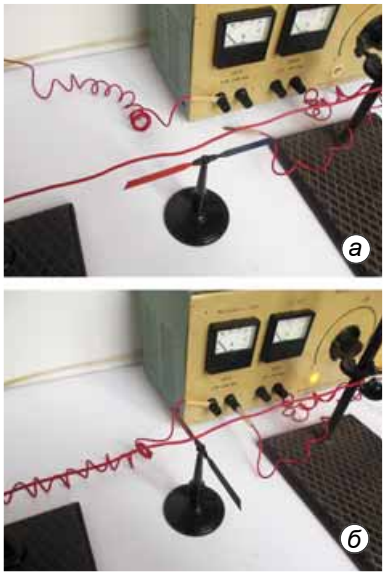
9. На вашу думку, чи притягуються залізні предмети до середини магніту?
10. Чим пояснити, що магнітна стрілка встановлюється в даному місці Землі в певному напрямку?
11. Де розміщені магнітні полюси Землі?
12. Як перевірити, що Південний магнітний полюс Землі знаходиться на Півночі, а Північний магнітний полюс – на Півдні?
13. Поясніть, чому на Місяці неможливо орієнтуватися за допомогою компаса.
14. Чим пояснити появу магнітних бур в атмосфері Землі?
15. Для чого призначено компас?

§ 2. ДОСЛІД ЕРСТЕДА. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Довгий час електричні та магнітні явища розглядалися як не пов'язані між собою. Уперше зв'язок між ними встановив датський фізик **Ганс Крістіан Ерстед.** Виконуючи дослід у 1820 р., він помітив, що магнітна стрілка, розміщена над або під провідником (мал. 19, *а*), під час замикання кола повертається й розміщується майже перпендикулярно до провідника (мал. 19, *б*).

Якщо електричне коло розімкнути, то стрілка повернеться в попереднє положення. Цей дослід свідчить про те, що електричний струм якимось чином діє на магнітну стрілку. Отже, між електричними та магнітними явищами існує певний зв'язок.

У досліді Ерстеда вперше було виявлено магнітне поле струму. Насправді, якщо провідник з електричним струмом діє на магнітну стрілку, то слід вважати, що навколо цього провідника існує **магнітне поле.**



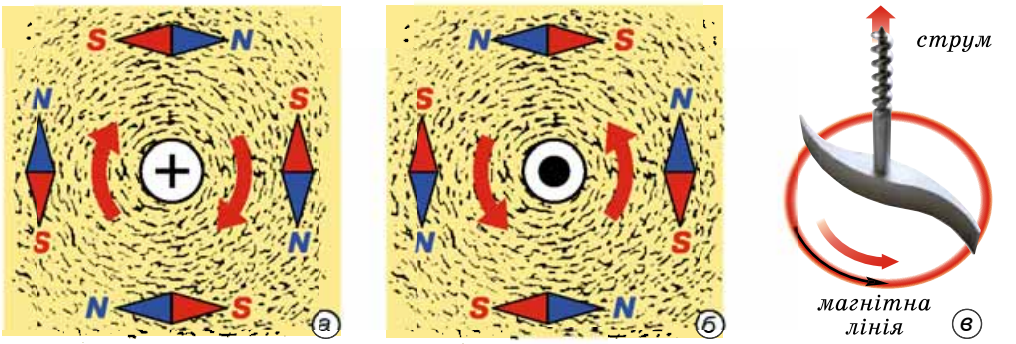
Мал. 19

Навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле.

Оскільки електричний струм – це напрямлений рух електрично заряджених частинок, то доходимо висновку, що **навколо будь-якої рухомої зарядженої частинки існують разом магнітне поле й електричне поле.** Навколо нерухомих зарядів є тільки електричне поле.

Для дослідження магнітного поля струму скористаємося методом спектрів, який ми застосовували для виявлення магнітного поля постійних магнітів.

Дослід 1. Крізь отвір у горизонтально розміщеному аркуші картону пропустимо вертикальний провідник зі струмом (мал. 20). Притрусимо картон залізними ошурками й замкнемо коло. У результаті досліду ми побачимо, що ошурки розмістилися навколо провідника концентричними колами. Якщо ошурки замінити магнітними стрілками, то вони розміщуються так, як показано на малюнку 20, *а*.



Мал. 20

Тут зображено вид зверху на картон з ланцюжками ошурок. Круг у центрі – поперечний переріз провідника зі струмом. У ньому хрестиком позначено струм у напрямку за картон (наче хвостове оперення стріли від лука, що летить від нас). Точкою у крузі позначено струм у напрямку із-за картону (наче накінечник стріли, що летить на нас).

З результатів досліду бачимо, що властивості магнітного поля струму такі самі, як у магнітного поля постійного магніту. Тому можна повторити висновки щодо графічного зображення магнітного поля, пам'ятаючи, що його джерелом можуть бути і постійний магніт, і електричний струм.

Уявні лінії, уздовж яких у магнітному полі розміщуються поздовжні осі маленьких магнітних стрілок, називають *лініями магнітного поля* (*магнітними силовими лініями*).

Напрямок, який показує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці поля, прийнято за напрямок лінії магнітного поля. У магнітному полі залізні або сталеві ошурки показують форму магнітних ліній цього поля.

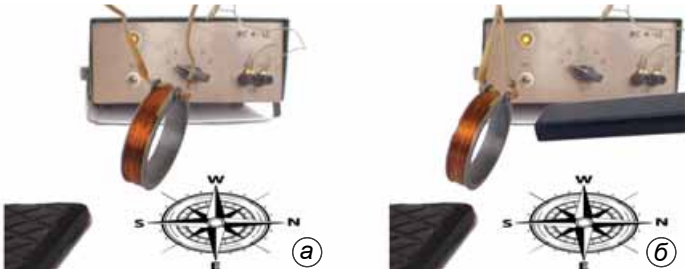
Лінії магнітного поля струму – це замкнені лінії, які оточують провідник зі струмом.

Виконаємо попередній дослід, але змінимо напрямок струму в провіднику на протилежний. Виявиться, що всі магнітні стрілки повернуться на 180° (мал. 20, *б*). Напрямок ліній магнітного поля струму пов'язаний з напрямком струму в провіднику, на практиці його можна встановити за правилом свердлика (мал. 20, *в*).

Якщо напрямок поступального руху свердлика збігається з напрямком струму, то напрямок обертання ручки свердлика збігається з напрямком магнітних силових ліній.

Дослід 2. Візьмемо довгий прямий ізольований провід, намотаємо його на дерев'яну або пластмасову котушку. Приєднаємо її до джерела струму. У котушці проходитиме електричний струм і до її кінців притягуватимуться залізні предмети, наприклад гвинт (мал. 21).

Мал. 21



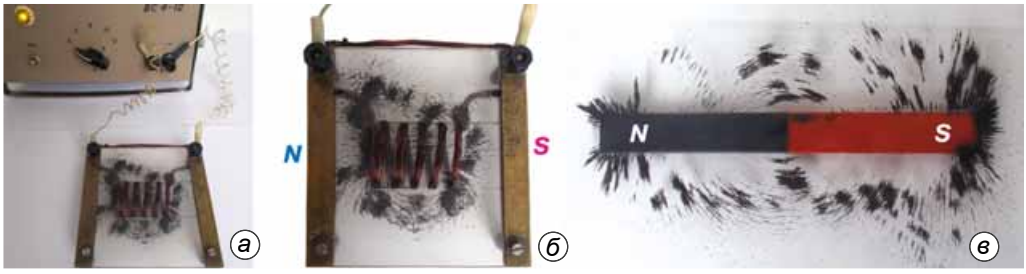
Мал. 22

Дослід 3. Підвісимо котушку зі струмом на довгих тонких та гнучких провідниках. Якщо поблизу немає магнітних матеріалів або інших магнітних полів, то котушка встановиться у просторі так, як магнітна стрілка компаса: один бік котушки буде повернутий на північ, другий – на південь (мал. 22).

Котушка зі струмом має два магнітних полюси: північний N і південний S.

Дослід 4. На пластинку з оргскла (мал. 23, *а*) покладемо залізні ошурки й по котушці пропустимо електричний струм. Ошурки зорієнтуються в певному порядку. Лінії магнітного поля котушки зі струмом є також замкненими кривими. Вважають, що поза котушкою вони напрямлені від північного полюса котушки до південного (мал. 23, *б*). Магнітне поле котушки зі струмом дуже подібне до магнітного поля штабового магніту (мал. 23, *в*).

На малюнку 22, *б* показано, як відштовхуються постійний магніт і котушка зі струмом, оскільки вони розміщені однойменними полюсами одне до одного.

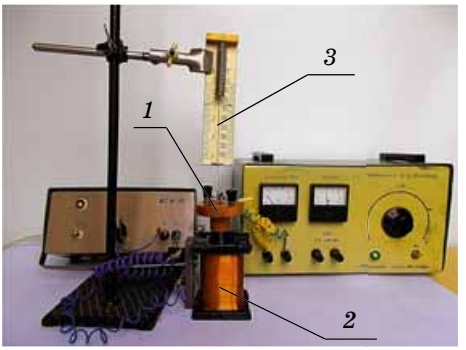


Мал. 23

З'ясуємо тепер, від чого залежить сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

Дослід 5. Прикріпимо котушку *1* (мал. 24) до чутливого динамометра *3*, розмістивши її всередині нерухомої котушки *2* із сильним постійним магнітним полем. Пропустимо по обох котушках струми однакового напрямку. Котушка *1* буде втягуватися всередину котушки *2*, пружина динамометра розтягуватиметься, вимірюючи силу взаємодії струмів.

Будемо пропускати через котушку *1* струми I, $2I$, $3I$ ... . Тоді сила, з якою діє на неї магнітне поле котушки *2*, дорівнює відповідно F, $2F$, $3F$ ... . Отже, сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, прямо пропорційна силі струму у провіднику: $F \sim I$.



Мал. 24

Змінюючи довжину провідника, намотаного на котушку *1*, аналогічно можна переконатися, що $F \sim l$, де l – довжина провідника, який розміщений у магнітному полі.

Крім того, сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, залежить від властивостей самого поля. Різні магнітні поля на один і той самий провідник діють неоднаково. Ця залежність характеризується величиною, яка отримала назву **індукції магнітного поля** (позначають літерою B). Що більша індукція магнітного поля, то з більшою силою воно діє на перпендикулярний провідник зі струмом: $F \sim B$. Об'єднуючи результати дослідів, отримуємо:

$$F = BIl.$$

Із цього співвідношення визначаємо індукцію магнітного поля: $B = \frac{F}{Il}$. Таким чином, індукція магнітного поля визначається силою, з якою магнітне поле діє на провідник довжиною 1 м, по якому проходить струм 1 А.

Тоді одиницею індукції магнітного поля в СІ є:

$$1\ \text{Н}/1\ \text{А} \cdot 1\ \text{м} = 1\ \text{Н}/\text{А} \cdot \text{м} = 1\ \text{Тл}.$$

За одиницю індукції магнітного поля 1 тесла (1 Тл) приймається індукція такого магнітного поля, яке на кожний 1 м довжини провідника зі струмом 1 А діє силою 1 Н.

Одиниця індукції магнітного поля названа на честь сербського фізика й електротехніка **Ніколи Тесли** (1856–1943).

Індукція магнітного поля є величиною векторною: вона має не тільки числове значення, але й напрямок. Визначення напрямку індукції магнітного поля ґрунтується на такому дослідному факті.

Як відомо, магнітна стрілка в магнітному полі повертається. Отже, з боку магнітного поля на неї діють сили. У стані спокою ці сили напрямлені по одній прямій, але в протилежні боки.

Тому **за напрямок індукції магнітного поля приймають напрямок сили, що діє з боку магнітного поля в напрямку північного полюса магнітної стрілки.**

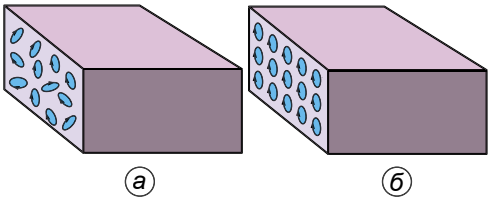
ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які явища спостерігаються в колах під час проходження електричного струму?
2. Опишіть, у чому полягає дослід Ерстеда.
3. На вашу думку, що є єдиним джерелом магнітного поля?
4. Чому для вивчення магнітного поля можна використати залізні ошурки?
5. Як розміщуються ошурки в магнітному полі прямого струму?
6. У якому напрямку встановлюється котушка зі струмом, підвішена на довгих тонких провідниках? У чому вона подібна до магнітної стрілки?
7. Від чого залежить сила, з якою діє магнітне поле на провідник зі струмом?
8. Що таке індукція магнітного поля?
9. Яка одиниця індукції магнітного поля в СІ?

§ 3. МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН. ГІПОТЕЗА АМПЕРА

Причину, унаслідок якої тіла мають магнітні властивості, уперше встановив французький учений **Андре Марі Ампер**. Під враженням від спостережень магнітної стрілки, що повертається поблизу провідника зі струмом у дослідах Ерстеда, він припустив, що магнетизм Землі спричинений струмами, які проходять усередині земної кулі. Отже, магнітні властивості тіла можна пояснити струмами, що циркулюють усередині нього. Далі Ампер узагальнив висновок: магнітні властивості будь-якого тіла визначаються замкнутими електричними струмами всередині нього. Свідченням наукової сміливості Ампера вважається його крок від можливості пояснення магнітних властивостей тіл струмами до категоричного ствердження, що магнітні взаємодії – це взаємодії струмів.

За гіпотезою Ампера, усередині молекул та атомів циркулюють елементарні електричні струми. На сьогодні ми добре знаємо, що ці струми утворюються внаслідок руху електронів в атомах, тобто кожен атом має магнітні властивості. Якщо атоми всередині тіла орієнтовані хаотично внаслідок теплового руху, то дії внутрішньоатомних струмів взаємно компенсуються і магнітних властивостей тіло не виявляє (мал. 25, *а*). У намагніченому стані елементарні струми в тілі орієнтовані так, що їхні дії додаються (мал. 25, *б*).

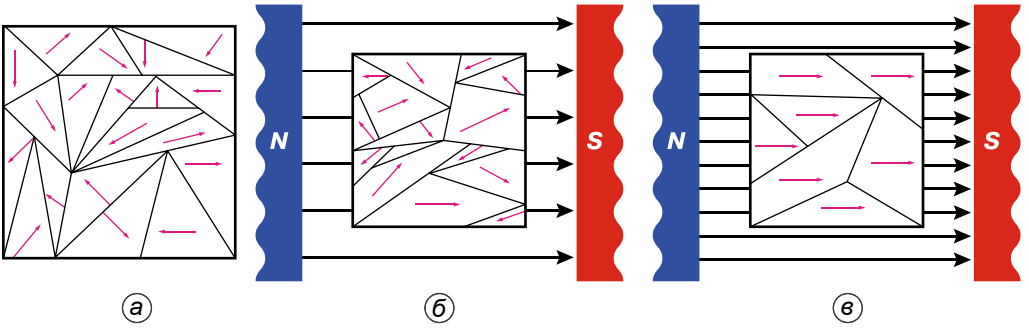


Мал. 25

Гіпотеза Ампера пояснює, чому магнітна стрілка й рамка зі струмом у магнітному полі поводяться однаково. Стрілку (постійний магніт) можна розглядати як велику складну сукупність маленьких рамок зі струмом, зорієнтованих однаково.

У згадуваних раніше *феромагнетиках* (речовини, до складу яких входять Fe, Co, Ni тощо) елементарні магнітики-атоми утворюють ділянки спонтанної (самочинної) намагніченості (з лінійними розмірами 0,001–0,01 мм), які називають доме́нами. У доменах міститься велика кількість однаково орієнтованих атомів, тому намагніченість домена максимальна. У ненамагніченому феромагнетику сусідні домени розміщені так, що їхні намагніченості взаємно компенсуються (мал. 26, *а*). Якщо зразок такого феромагнетика вмістити в магнітне поле постійного магніту або всередину котушки зі струмом, то під впливом зовнішнього магнітного поля атоми в різних доменах переважно набувають такої орієнтації, що напрям їхнього магнітного поля збігається з напрямком зовнішнього (мал. 26, *б*). При цьому магнітне поле всередині зразка може збільшитися в тисячі разів (мал. 26, *в*). Кажуть, що зразок намагнітився. За певних умов цей стан намагніченості залишається і після зникнення зовнішнього поля, тобто зразок стає постійним магнітом.

Якщо постійний магніт нагрівати, то за певної температури (для заліза 769 °С) домени руйнуються і його намагніченість втрачається.



Мал. 26

Температуру, за якої феромагнетик втрачає намагніченість, називають *температурою*, або *точкою, Кюрі*, на честь видатного французького фізика **Фредеріка Жоліо-Кюрі**, який відкрив і дослідив це явище.

Магнітні властивості речовин знайшли широке застосування. Одним із цікавих прикладів використання дії магнітного поля на речовину є «омагнічування» води. Така вода не створює накипу в парових котлах, що дає змогу використовувати її без додаткової хімічної обробки. Бетон, замішаний на такій воді, міцніший за звичайний.

Явище підсилення магнітного поля магнітними речовинами (феромагнетиками) застосовується в різних електротехнічних пристроях: електромагнітних кранах, реле, електродвигунах, трансформаторах. Для цього використовують спеціальні сорти електротехнічної сталі.

Важко уявити собі сучасну електроніку без елементів, виготовлених зі штучних феромагнетиків – феритів. З них виготовляють антени, осердя коливальних контурів та трансформаторів. Поширені феритові постійні магніти.

Без магнітних матеріалів важко було уявити методи запису інформації. Типовим прикладом пристрою для запису на магнітній плівці був магнітофон. У цьому апараті використовували спеціальну плівку, покриту тонким шаром феромагнітного матеріалу. Змінний електричний струм від підсилювача надходив на записуючу голівку – котушку з феромагнітним осердям, у якому була вузька щілина. При проходженні змінного струму по котушці в щілині голівки з'являлося змінне магнітне поле, магнітна індукція якого також змінювалася. На сьогодні зберігання інформації в комп'ютері відбувається на жорсткі магнітні диски. Це металеві диски, на які нанесено шар речовини, що має магнітні властивості.

Магнітні лікарські препарати містять магнітний наповнювач. Створення таких препаратів є новим перспективним науковим напрямом розвитку сучасної фармації. Серед них можна виділити рідини, мікрокапсули, пластирі, мазі.

Існує кілька напрямків використання магнітних рідин у медицині та фармації: магнітокеровані рентгеноконтрастні композиції; штучні тромби та магнітні рідини для закриття зовнішніх свищів порожнистих органів; магнітокероване транспортування лікарських речовин; магнітні рідини для виготовлення штучних органів; визначення швидкості кровообігу та

мікроциркуляції; магнітогідродинамічна сепарація формених елементів крові, нормальних та злоякісних клітин тощо. Магнітні мікрокапсули – це мікроконтейнери, в які одночасно з лікарською речовиною вводяться частинки магнітних матеріалів. Можливе використання магнітних мікроконтейнерів для доставки лікарських речовин у природні клітини – еритроцити, в які одночасно з лікарськими речовинами вводяться частинки магнетиту. Магнітні пластирі одержують шляхом уведення магнітного наповнювача в пластирну масу, що містить допоміжні та лікарські речовини протизапальної та знеболювальної дії. Використання магнітних пластирів є ефективним при лікуванні різних захворювань. Лікувальні *магнітні мазі* застосовують у гастроентерології та офтальмохірургії.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Поміркуйте, що дала для науки гіпотеза Ампера.
2. Які властивості мають магнітні речовини?
3. Назвіть основні галузі, де застосовують магнітні речовини.

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Чи можна виготовити магніт з одним полюсом?

Відповідь: ні, тому що магніт може мати тільки парне число полюсів (2, 4, 6 і т. д.).

2. Згадайте, як взаємодіють магніти, і поясніть, де розміщені магнітні Північний і Південний полюси Землі.

Відповідь: у Північній півкулі всі магнітні силові лінії Землі сходяться в точці, що розміщена на 70°50′ північної широти і 96° західної довготи. Ця точка і є Південним магнітним полюсом Землі. Північний магнітний полюс розміщений у Південній півкулі. Його координати: 70°10′ південної широти і 150°45′ східної довготи.

3. Як за допомогою магнітної стрілки визначити, чи намагнічена сталева спиця?

Відповідь: потрібно піднести кінець спиці до середини стрілки. Якщо стрілка притягнеться, то спиця намагнічена.

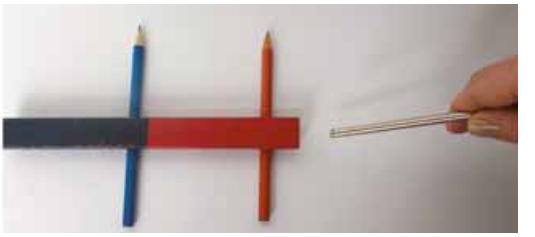
Рівень А

1. Назвіть та перевірте на дослідах, які з перелічених речовин чи предметів притягуються магнітом: а) деревина (олівець); б) папір; в) залізо (цвях, скріпка, гвинт); г) скло; д) алюмінієвий та мідний дроти; е) сталевий циркуль.

2. До магніту, підвішеного на нитці (мал. 27), наближають інший магніт. Як вони взаємодіятимуть?

3. Поясніть результати дослідів, зображених на малюнках 28–29.

Мал. 27



Мал. 28

4. Розгляньте малюнок 30. З якою метою використали магніт?

5. Чому до магніту притягуються ненамагнічені залізні цвяхи?

6. Чи є правильними покази компаса всередині автобуса?

7. Чому залізничні рейки, які довго пролежали на складі, намагнічуються?

Рівень Б

8. Чому під час нагрівання магніт втрачає магнітні властивості?

9. Дві голки підвісили на нитці. Коли до них наблизили магніт, вони почали відштовхуватися одна від одної (мал. 31). Чому?

10. Залізні ошурки притягнулися до полюса магніту. Чому з них на полюсі утворюються «китиці», у яких окремі ошурки відштовхуються один від одного?

11. Намалюйте, як зберігають два штабових магніти в коробочці. Проставте полюси.

12. Чому для кращого збереження підковоподібний магніт замикають залізною пластинкою (якорем)?

13. Чому на поверхні намагніченої деталі, укритої мильною водою із залізним порошком, у тих місцях, де є ззовні або всередині тріщини, залізний порошок згущується?

Мал. 29

Мал. 30

Мал. 31

14. Чому корпус компаса виготовляють з міді, алюмінію, пластмаси, а не із заліза?

15. Розгляньте компас. Вивчіть його будову. Покладіть компас на стіл або підставку так, щоб він лежав горизонтально (стрілка повинна вільно рухатися). Віддаліть від нього магнітні речовини (предмети). Повертаючи компас (залишаючи його горизонтальним), визначте північну (N), південну (S), західну (W) і східну (E) сторони світу. Визначте, у якій стороні світу щодо вас розташований ваш будинок, головна вулиця села або міста, сусіднє село або місто.

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

У північноамериканських преріях росте невеличка рослина – сильфіум, яку називають «живим магнітом». Її широкі мережані листки розміщені в одній площині, ніби їх щойно витягли з-під преса, і завжди орієнтовані ребрами на північ–південь, широким боком – на захід–схід. Для подорожніх сильфіум слугує надійним компасом. Опівдні листя рослини звернене ребром до сонця. Ця дивовижна властивість захищає рослину від спекотних сонячних променів і надмірного випаровування вологи.

В Україні найпоширеніша «компасна» рослина – латук дикий, або латук компасний.

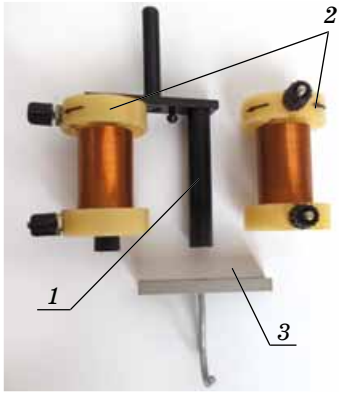
Магнітне поле Землі є орієнтиром для слимаків. Якщо на шляху молюска покласти магніт, що діє трохи сильніше, ніж магнітне поле Землі, то, повертаючи магніт у той чи інший бік, можна змінювати напрямок руху слимака. Виявлено, що навіть мухи в якийсь спосіб відчувають магнітне поле Землі. Німецький учений **Е. Гюнтер** помітив, що в 90 випадках із 100 вони сідають на горизонтальну поверхню точно в напрямку північ–південь або схід–захід. Таку саму особливість він виявив у хрущів і термітів.

§ 4. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПРОВІДНИКА ЗІ СТРУМОМ. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ. МАГНІТНА ЛЕВІТАЦІЯ

Відкриття Ерстеда ознаменувало початок низки досліджень з електромагнетизму. У 1820 р. Андре-Марі Ампер і **Франсуа Араго** дослідили магнітне поле котушки. У 1825 р. британський фізик **Вільям Стерджен** помітив, що магнітне поле котушки значно підсилюється, якщо в її середину внести сталеве осердя. Таким чином він винайшов найпростіший ***електромагніт***.

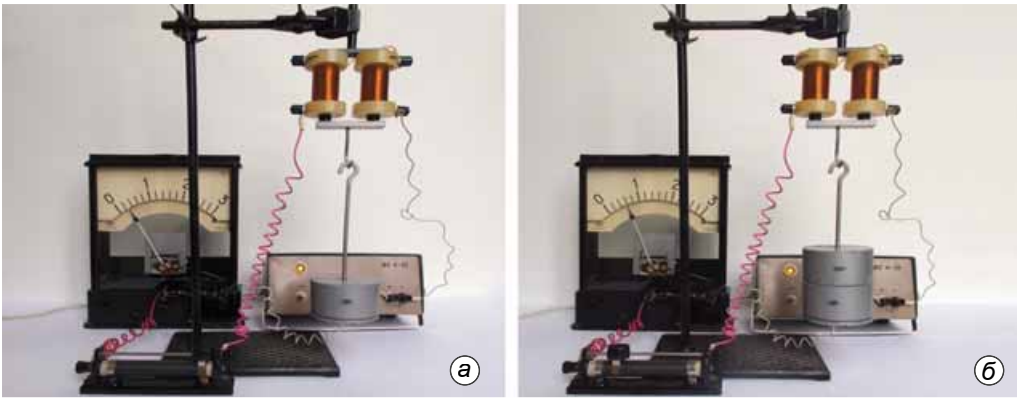
У 1828 р. **Джозеф Генрі** застосував багатошарову обмотку з ізольованого дроту й цим самим створив потужніший електромагніт.

Будь-який електромагніт складається з таких частин (мал. 32): сталевого осердя *1*, котушки (обмотки) *2* і якоря *3*, який притягується до осердя. З'ясуємо, від чого залежить сила, з якою магнітне поле котушки електромагніту діє на його якір.



Мал. 32

Дослід 1. Замкнемо коло, що містить електромагніт і реостат, за допомогою якого змінюватимемо силу струму в котушках. При певній силі струму електромагніт утримує певний вантаж (мал. 33, *а*), а якщо збільшити силу струму вдвічі, то електромагнітом можна втримати приблизно вдвічі важчий вантаж (мал. 33, *б*).



Мал. 33

Що більший струм проходить у котушці електромагніту, то з більшою силою притягується до нього якір.

Дослід 2. Повторимо дослід 1 при початковій силі струму, коли електромагніт утримував менший вантаж. Тепер поміняємо котушку електромагніту на подібну за конструкцією, але з удвічі більшим числом витків. Пересвідчимося, що в цьому разі електромагніт здатен утримувати такий самий більший вантаж, як і в досліді 1, коли вдвічі збільшували струм.

Що більше витків має котушка електромагніту, то з більшою силою притягується до нього якір.

З результатів цих дослідів випливає висновок, що «вантажопідйомність» електромагніту залежить від «ампервитків» його обмотки, тобто від добутку сили струму в котушці на кількість витків у ній.

Електромагніти широко застосовують у техніці, побуті, медицині тощо завдяки тому, що вони мають особливі властивості: електромагніти швидко розмагнічуються, коли вимкнути струм; залежно від призначення їх можна виготовляти різних розмірів; під час роботи електромагніту можна регулювати його магнітну дію, змінюючи силу струму в обмотці.

Мал. 34

Електромагніти є в будь-якому телефоні, телевізорі, комп'ютері, ліфті, автомобілі, морському чи повітряному судні, космічному кораблі тощо. На підприємствах застосовують електромагнітний підйомний кран для навантаження або розвантаження металобрухту (мал. 34). Ця машина зручна тим, що не потребує ніяких кріплень вантажу. Машиніст крана, розмістивши електромагніт над металобрухтом, вмикає струм в обмотці – і весь металевий вантаж міцно «прилипає» до магніту. Після вимикання струму металобрухт сам відпадає від сердечника. За допомогою електромагніту підні-

мають і переміщають масивні об'єкти, наприклад автомобілі перед утилізацією. А електромагніт заводського крана, що його використовують, наприклад, для перенесення бобін листової сталі, має 4 обмотки і може підняти бобіну діаметром 2 м і масою 28 т (мал. 35, *а*).

Мал. 35

На малюнку 35, *б* у розрізі показано магнітний сепаратор, який використовують для очищення зерна від насіння бур'янів. У зерно підмішують дрібненькі залізні ошурки, які не прилипають до гладенького зерна, а причеплюються до ворсистого насіння бур'янів. Під час обертання барабана, у якому розміщено електромагніт, відбувається розподіл зерна та насіння бур'янів із залізними ошурками.

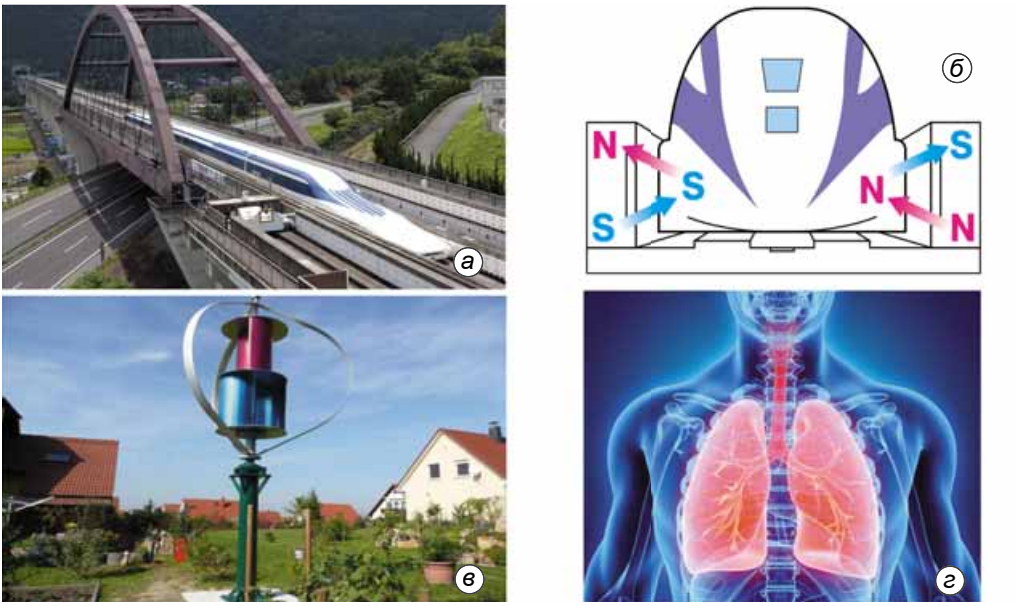
Якщо в око людини потрапляють тіла, на які діє магніт, у лікарнях для їх видалення застосовують постійні та електромагніти. Змінюючи силу струму в обмотці, регулюють інтенсивність магнітного поля й видаляють тіло з глибини до 2,5 мм.

Магнітна левітація – це технологія переміщення, у якій капсула або вагон піднімаються над поверхнею за допомогою явища відштовхування однойменних полюсів магнітів. Завдяки цьому потяг летить над поверхнею, не торкаючись її (мал. 36, *а*). Відсутність коліс дає змогу розвивати надзвичайно великі швидкості для наземного транспорту, оскільки інженерам не потрібно долати супутні перепони. Наприклад, високі напруження в матеріалі коліс при високій швидкості обертання та можливість їхнього руйнування під час руху.

Однойменні полюси відштовхуються, а різнойменні – притягуються. Це підіймає потяг над поверхнею землі.

Горизонтальне переміщення потяга магнітною левітацією також відбувається за рахунок електромагнітів, які керуються автоматикою (мал. 36, *б*). Вона за заданим алгоритмом відключає одні та підключає інші магніти. У результаті попереду потяга створюється магнітна сила, яка тягне його. Що швидше переключаються магніти, то більшої швидкості можна досягти. У результаті такий транспорт виявляється на 30 % ефективнішим за колісний на рейках.

Магнітна левітація дає змогу потягам уже сьогодні розганятись до 600 км/год. А в планах – подолати звуковий бар'єр (1000 км/год). Це дасть змогу з'єднати



Мал. 36

різні континенти Євразії та Америки залізницею – фахівці вже обговорюють подібний проект під назвою «Коридор розвитку Тихоокеанського регіону».

Не менш цікавим практичним напрямом можна вважати широке застосування магнітних підшипників у ключових вузлах механізмів. Їх установка розв'язує серйозну проблему зносу вихідного матеріалу.

Як відомо, класичні підшипники стираються досить швидко – вони постійно зазнають високих механічних навантажень. У деяких галузях необхідність заміни цих деталей спричиняє не тільки додаткові витрати, а й ризик для людей, які обслуговують ці механізми. Магнітні підшипники мають у кілька разів більший робочий ресурс, отож їх застосування доцільніше для будь-яких екстремальних умов. Зокрема, в атомній енергетиці, вітрових технологіях (мал. 36, *в*) або галузях, що супроводжуються надзвичайно низькими і високими температурами.

Завдяки магнітній левітації були вирощені штучні тканини легені людини (мал. 36, *г*). Незважаючи на те, що це звучить фантастично, група вчених під керівництвом Глук Соуза у 2010 р. наочно продемонструвала, що це можливо. Дослідники поставили за мету в лабораторних умовах створити бронхіолу. У результаті були отримані реалістичні синтетично вирощені тканини легень.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Якими способами можна підсилити магнітну дію котушки зі струмом?
2. Що називають електромагнітом?
3. Розкажіть, для чого використовують електромагніти.
4. Як працює зерновий магнітний сепаратор?
5. Чи діятиме як магніт котушка, виготовлена з неізольованого мідного дроту зі щільно припасованими витками, якщо по ній пропускати струм?
6. Що таке магнітна левітація і де її застосовують?

Лабораторна робота № 1

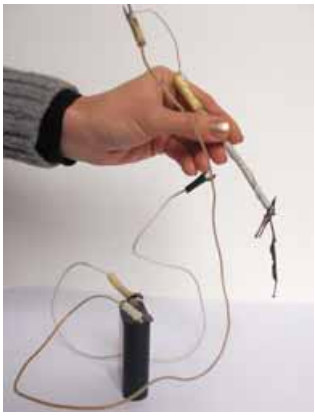
Складання та випробування електромагніту

Мета роботи: виготовити електромагніт і на дослідах перевірити його дію.

Прилади і матеріали: джерело струму, ключ, з'єднувальні проводи, магнітна стрілка або компас, невеликі предмети з різних матеріалів: сталевий болт або цвях, маленькі цвяхи, скріпки для паперу, монети, гумка, пластмасовий гребінець, аркуш картону тощо.

Хід роботи

1. Виготовте найпростіший електромагніт. Для цього на сталевий болт або цвях намотайте кілька шарів ізольованого дроту. Прикріпіть один кінець дроту до одного з полюсів батареї гальванічних елементів або іншого джерела струму, а другий – до іншого, як це показано на малюнку 37.



Мал. 37

2. Увімкніть електромагніт за допомогою вимикача й піднесіть його до підготовлених невеликих предметів з різних матеріалів. Які з них притягуються електромагнітом? Зробіть висновок.

3. Між електромагнітом і маленькими цвяхами розмістіть аркуш тонкого картону. Чи притягуються цвяхи електромагнітом? Зробіть висновок.

4. Покладіть електромагніт на стіл. Піднесіть (не торкаючись) до нього магнітну стрілку або компас. Який полюс магнітної стрілки притягуватиметься до електромагніту?

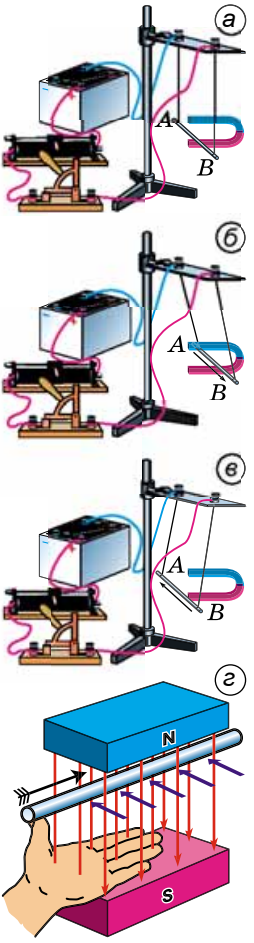
5. Провід, приєднаний раніше до позитивного полюса джерела струму, приєднайте до негативного, й навпаки. Який полюс магнітної стрілки притягуватиметься до електромагніту в цьому випадку? Чи свідчить це про те, що електромагніт має магнітні полюси? Які?

6. Зробіть висновок.

Для допитливих

Наповніть залізними ошурками пробірку і закрийте її так, щоб ошурки були добре вщільнені. Уставте пробірку з ошурками в котушку, по якій проходить постійний електричний струм. Розімкніть коло. За допомогою магнітної стрілки впевніться, що пробірка з ошурками має властивості постійного магніту. Поясніть намагнічення залізних ошурок. Відкрийте пробірку і добре струсіть ошурки. За допомогою магнітної стрілки дослідіть, чи зберегли ошурки магнітні властивості. Поясніть результати досліду.

§ 5. ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІДНИК ЗІ СТРУМОМ. СИЛА АМПЕРА



Мал. 38

Ви вже знаєте, що два провідники, по яких проходить електричний струм, взаємодіють між собою з певною силою. Це пояснюється тим, що на кожний провідник зі струмом діє магнітне поле струму іншого провідника.

Магнітне поле діє з певною силою на будь-який провідник зі струмом, що розміщений у цьому полі. Таку силу називають **силою Ампера** на честь французького вченого, який дослідив і визначив залежність значення і напрямку цієї сили від умов досліду.

Дослід 1. Підвісимо на приєднаних до джерела струму гнучких провідниках відрізок товстого мідного дроту AB. Розмістимо його горизонтально між полюсами підковоподібного магніту (мал. 38, *а*). У цьому разі провідник AB розміщуватиметься в магнітному полі, що створює навколо себе магніт. Якщо замкнемо електричне коло, провідник AB почне рухатися, втягуючися до середини магніту (мал. 38, *б*).

Коли змінимо напрямок електричного струму, то провідник AB виштовхуватиметься з магніту (мал. 38, *в*). Таку саму зміну напрямку руху провідника AB спостерігатимемо, якщо будемо змінювати положення полюсів магніту на протилежне.

Напрямок руху провідника в магнітному полі визначається напрямком **сили Ампера**, що діє на нього, і залежить від напрямку струму в провіднику та розміщення його відносно полюсів магніту.

На практиці зручно визначати напрямок сили Ампера, що діє на провідник зі струмом, за допомогою **правила лівої руки** (мал. 38, *г*).

Якщо долоню лівої руки розмістити так, щоб чотири випрямлені пальці вказували напрямок струму в провіднику, а лінії магнітного поля входили в долоню, то відігнутий під прямим кутом великий палець укаже напрямок сили Ампера, що діє на провідник зі струмом.

Під час розв'язування задач для визначення сили Ампера потрібно скористатися формулою:

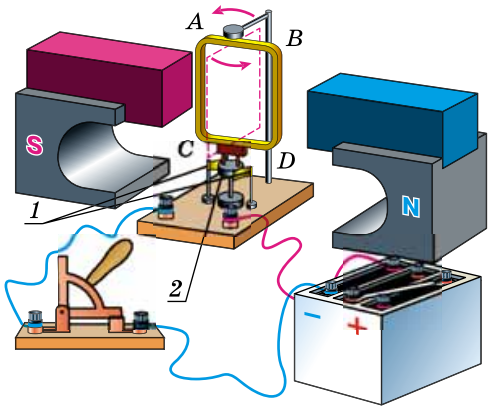
$$F_A = BIl\sin\alpha,$$

де F_A – сила Ампера, Н; B – індукція магнітного поля, Тл; I – сила струму у провіднику, А; l – довжина провідника; α – кут, під яким провідник довжиною l, по якому проходить струм, розміщений у магнітному полі до вектора магнітної індукції B.

Якщо $\alpha = 90°$, то формула набуває вигляду:

$$F_A = BIl.$$

Практичне значення має обертальний рух провідника зі струмом у магнітному полі як механічна дія електричного струму. На малюнку 39 зображено прилад, на якому можна здійснювати такий рух. У цьому приладі легку прямокутну рамку *ABCD* насаджено на вертикальну вісь. На рамку намотано кілька десятків витків дроту, покритого ізоляцією. Кінці котушки приєднано до металевих півкілець колектора *2*. Один кінець дроту приєднано до одного півкільця, а другий – до іншого.



Мал. 39

До кожного півкільця притискується металева пластинка-щітка *1*. Щітки призначено для підведення струму від джерела струму до рамки. Одна щітка завжди з'єднана з позитивним полюсом джерела, а друга – з негативним.

Ви вже знаєте, що струм у колі напрямлений від позитивного полюса джерела до негативного, отже, в частинах рамки *AC* і *BD* він має протилежний напрямок, тому ці частини провідника переміщуватимуться у протилежні боки, і рамка повертатиметься. З поворотом рамки приєднані до її кінців півкільця повернуться разом з нею, і кожне притиснеться до іншої щітки, тому струм у рамці змінить напрямок на протилежний. Оскільки після повороту рамки на 180° одночасно помінялися на протилежні відносно неї і напрямок магнітного поля, і напрямок струму, то напрямки сил Ампера, що діють на частини *AC* і *BD* рамки, не змінюються, і рамка продовжуватиме обертатися в тому самому напрямку. Якби колектор *2* не перемикав автоматично напрямок струму в рамці на протилежний, то вона зупинялася б після кожного півоберту.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

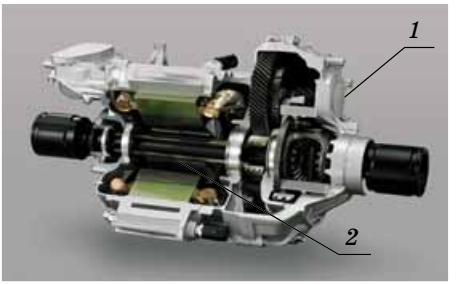
1. З якого дослідного факту випливає, що магнітне поле має діяти певною силою на вміщений у нього провідник зі струмом?
2. Перелічіть, від чого залежить напрямок сили, що діє на провідник зі струмом.
3. За якою формулою визначається сила Ампера?
4. Який пристрій автоматично змінює напрямок струму в обмотці рамки, що обертається між полюсами магніту?

§ 6. ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ. ГУЧНОМОВЦІ. ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Обертання котушки зі струмом у магнітному полі використовують в електричних двигунах та електровимірювальних приладах.

Без електричних двигунів неможливо уявити життя сучасної людини. Перелік пристроїв, механізмів і машин, у яких використовуються елек-

тричні двигуни, величезний: літак, автомобіль, трактор, трамвай, тролейбус, ліфт тощо.



Мал. 40

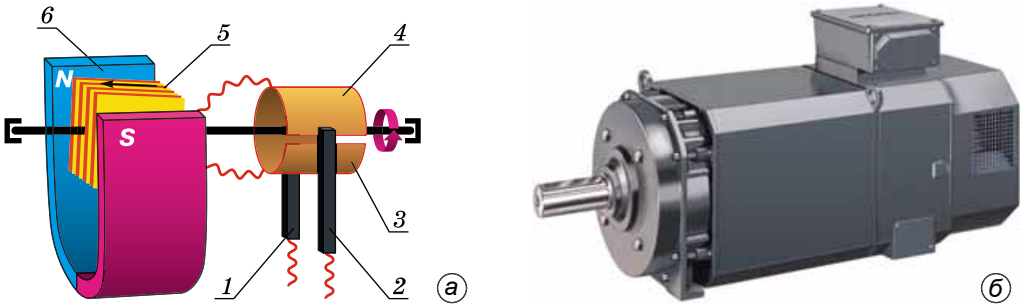
Існує багато конструкцій різних електродвигунів, але ми вивчимо будову та принцип дії дуже поширеного **колекторного електродвигуна** (мал. 40). Він складається з таких основних вузлів:

1. **Статор** ***1*** (англ. *stator*, лат. *sto* – «стою») є або постійним магнітом з наконечниками S і N, або електромагнітом. Він становить єдине ціле з корпусом електродвигуна. Статор колекторного двигуна часто називають індуктором. Це така частина двигуна, яка слугує для збудження магнітного поля.

2. **Ротор** ***2*** (лат. *roto* – «обертаюсь»), або **якір** двигуна, – осердя певної форми, набирається з листів спеціальної сталі, на які намотують ізольований дріт – обмотку.

3. Кінці обмотки припаяно до мідних пластин **колектора**, які закріплено на добре ізольованому барабані, що розміщується на осі ротора.

4. Дві вугільні щітки спеціальними пружинами щільно притискаються до колекторних пластин. До щіток від джерела струму подається напруга, що живить електродвигун.



Мал. 41

Принцип роботи двигуна розглянемо на прикладі простого двигуна (мал. 41, *а*). До щіток *1* і *2* подається потрібна для роботи електродвигуна напруга. Завдяки взаємодії струму, що проходить по обмотці, з магнітним полем статора *6* ротор *5* повертається так, що рамка виявляється у вертикальному положенні й струму в ній немає, тому що щітки торкаються не пластин колектора *3* і *4*, а ізоляції між ними. Однак завдяки інерції ротор проминає це положення, і щітки знову торкаються колекторних пластин. Через кожен півоберт колектор автоматично перемикає полярність напруги джерела на кінцях обмотки на протилежну, тому напрямок струму в ній весь час відповідає обертанню ротора в один бік.

Електричні двигуни мають низку переваг. За однакової потужності їхні розміри менші, ніж теплових двигунів. Вони не виділяють газів, диму й пари. Електродвигуни можна встановити в будь-якому місці. Можна ви-

готовити електричний двигун будь-якої потужності. Наприклад, двигун, зображений на малюнку 41, *б*, має потужність 890 кВт, працює при напрузі 1400 В і в ньому проходить струм 635 А.

Один з перших у світі електричних двигунів, придатних для практичного застосування, винайшов знаменитий електротехнік **Борис Якобі**.

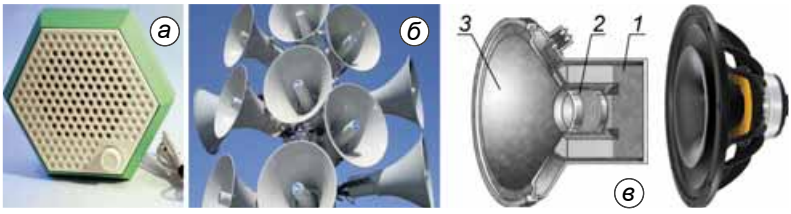
Гучномо́вець – пристрій для ефективного випромінювання звуку в навколишній простір, що конструктивно містить одну або кілька випромінюючих голівок і, за потреби, акустичне оформлення й додаткові електричні пристрої (фільтри, трансформатори, регулятори тощо).

Голівка гучномовця – пасивний електроакустичний перетворювач, призначений для перетворення електричних сигналів в акустичні.

Акустичне оформлення – конструктивний елемент, що забезпечує ефективне випромінювання звуку (акустичний екран, ящик, рупор тощо).

Гучномовці бувають таких функціональних видів: *акустична система* – гучномовець, призначений для використання функціональною ланкою в побутовій радіоелектронній апаратурі, має високі характеристики звуковідтворення; *абонентський гучномовець* – гучномовець, призначений для відтворення передач низькочастотного каналу мережі дротового мовлення (мал. 42, *а*); *концертний гучномовець*, що має велику гучність у поєднанні з високою якістю звукопередачі; гучномовці для систем сповіщення і систем озвучування приміщень (гучномовці цих систем схожі за призначенням, дещо відрізняються гучністю і якістю звуковідтворення); *вуличний гучномовець*, що має велику потужність, зазвичай, рупорне виконання, у просторіччі «дзвін» (мал. 42, *б*); *спеціальні гучномовці* для роботи в екстремальних умовах – протиударні, противибухові, підводні тощо.

Електродинамі́чний гучномо́вець – гучномовець, у якому перетворення електричного сигналу в звук відбувається завдяки переміщенню котушки зі струмом у магнітному полі постійного магніту (рідше – електромагніту) з наступним перетворенням отриманих механічних коливань у коливання навколишнього повітря за допомогою дифузора.



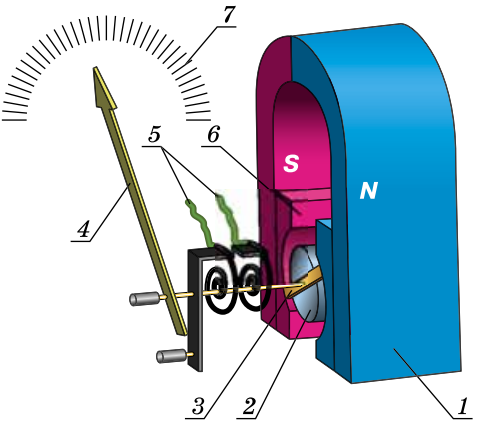
Мал. 42

Гучномовці перетворюють електричний сигнал на звукові хвилі, що поширюються в повітряному середовищі, за допомогою механічної рухливої системи – дифузора *3* (мал. 42, *в*). Основним робочим вузлом електродинамічного гучномовця є дифузор, що виконує перетворення механічних коливань на акустичні. Дифузор гучномовця приводиться в рух силою, що діє на жорстко скріплену з ним котушку *2*, яка розміщена в магнітному

полі. У котушці проходить змінний струм, який відповідає аудіосигналу, що має відтворити гучномовець. Магнітне поле в гучномовці створюється кільцевим постійним магнітом *1*. Котушка під дією сили Ампера вільно рухається в межах кільцевого зазору, а її коливання передаються дифузору, що, у свою чергу, створює акустичні коливання, які поширюються в повітряному середовищі. Зі збільшенням сили струму котушка сильніше притягнеться до постійного магніту, в разі зменшення сили струму притягання послабшає і котушка зміститься в протилежному напрямку. Якщо силу струму в котушці змінювати періодично, вона буде відхилятися (рухатися) то в одному, то в іншому напрямку, тобто коливатиметься в такт зміні сили струму. Що частіше змінюватиметься сила струму, то більшою буде частота коливань котушки. Тіло, яке коливається з частотою від 20 до 20 000 Гц, випромінює звукові хвилі. Отже, якщо частота коливань котушки змінюватиметься в означених межах, то котушка буде джерелом звуку. Гучність та висота тону випромінюваного звуку визначатимуться амплітудою і частотою коливань відповідно. Саме на коливаннях котушки зі змінним струмом у магнітному полі постійного магніту базується дія електродинамічного гучномовця (динаміка) – електроакустичного пристрою для відтворення звуку.

До створення цифрових електровимірювальних приладів у техніці користувалися переважно стрілковими вимірювачами електричних величин, в основу будови яких було покладено дії електричного струму, наприклад теплова або механічна, яка у свою чергу ґрунтується на магнітній дії струму. Існують кілька систем електровимірювачів магнітної дії: у приладах електромагнітної системи стрілка-вказівник зв'язана з феромагнітним осердям, що втягується в котушку, у якій проходить вимірюваний струм; у приладах **магнітоелектричної системи** вказівник зв'язаний з легкою рамкою зі струмом, що повертається в полі магніту на кут, пропорційний значенню цього струму; у приладах електродинамічної **системи** алюмінієвий диск обертається в магнітному полі змінного струму.

Розглянемо детальніше будову та дію приладів **магнітоелектричної** системи, яка є найпоширенішою у практиці.



Мал. 43

Прилади магнітоелектричної системи (мал. 43) складаються з підковоподібного магніту *1*, біля полюсів якого розміщуються наконечники *6*, між якими на двох півосях обертається легка алюмінієва рамка *3*. На рамку намотують тонкий ізольований провідник. Для підсилення магнітного поля у просторі між полюсами розміщують нерухомий залізний циліндр *2*. До передньої півосі рамки прикріплюють легку алюмінієву стрілку *4*. Кінці провідника, намотаного на рамку, припаюють до двох пружин *5*, по яких подається струм до обмотки рамки.

Під час проходження струму по обмотці рамки вона повертається. Що більша сила струму проходить крізь рамку, то на більший кут повертається стрілка. Коли електричне коло розмикають, пружини під дією сил пружності, які виникли під час повороту рамки, повертають стрілку в нульове положення шкали *7*.

За допомогою приладів магнітоелектричної системи можна виміряти такі електричні величини: силу струму, напругу.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яке фізичне явище використовують у конструкції електричних двигунів?
2. Назвіть основні частини, з яких складається електродвигун.
3. Які переваги мають електричні двигуни перед тепловими двигунами такої самої потужності?
4. Назвіть три побутові машини, у яких використовують електричні двигуни.
5. Що таке гучномовець і які бувають його види?
6. Яка будова і дія електродинамічного гучномовця?
7. Яка будова електровимірювального приладу магнітоелектричної системи? Які фізичні величини ним можна виміряти?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

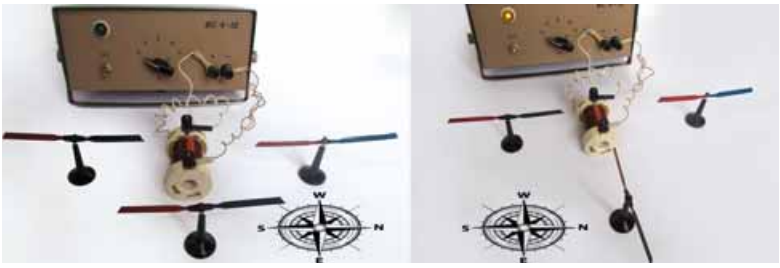
Розв'язуємо разом

1. У творі французького фізика Франсуа Араго «Грім і блискавка» наводиться багато випадків перемагнічування компасної стрілки, намагнічування сталевих предметів під дією блискавки. Як можна пояснити ці явища?

Відповідь: блискавка – іскровий розряд. Навколо неї виникає сильне магнітне поле, яке діє на сталеві предмети, намагнічуючи і перемагнічуючи їх.

2. Поясніть результати досліду (мал. 44).

Відповідь: коли електричне коло не замкнуте, усі магнітні стрілки розміщуються в напрямі північ–південь. Якщо коло замкнути навколо провідника зі струмом, то виникає магнітне поле, котушка стає магнітом, і тому магнітні стрілки взаємодіють з нею.



Мал. 44

3. Рамка зі струмом розміщена між полюсами підковоподібного магніту так, що її площина перпендикулярна до ліній магнітного поля. Чи повертатиметься рамка?

Відповідь: ні, тому що в цьому разі в рамки відсутній обертальний момент.

Рівень А

Мал. 45

16. Чому відштовхуються магніти, зображені на малюнку 45?

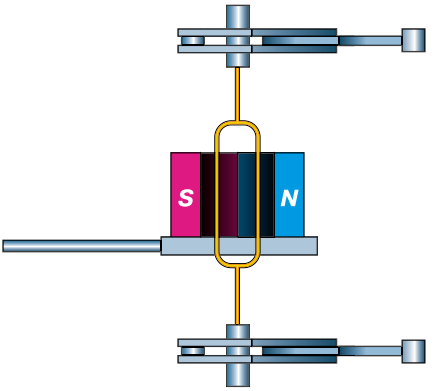
17. Як найпростіше і найшвидше розділити чорні й кольорові метали в металобрухті?

18. Чи притягне електромагнітний кран закриту цинкову коробку зі сталевими цвяхами, шпильками або шурупами?

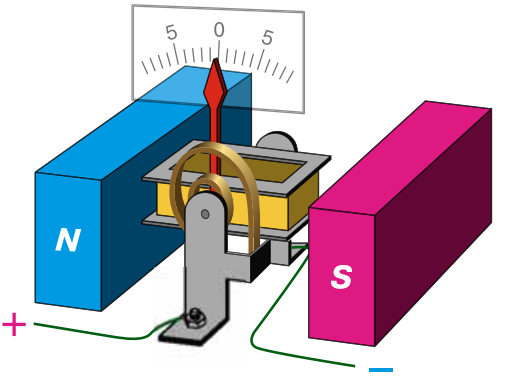
19. Потік зерна, яке надходить на камені млина, пропускають спочатку між полюсами сильного електромагніту. Навіщо це роблять?

20. Як просто і швидко розсортувати й укласти латунні цвяхи, мідні шурупи, сталеві шпильки в заводських умовах?

21. Що відбуватиметься з рамкою, якщо по ній буде проходити електричний струм (мал. 46)?

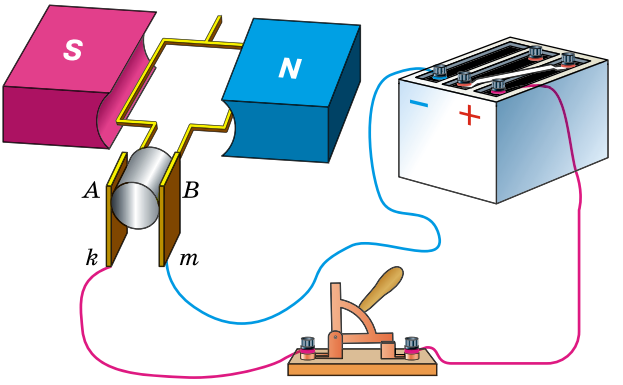


Мал. 46

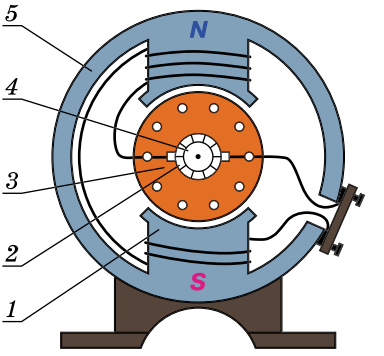


Мал. 47

22. На малюнку 47 подано схему будови гальванометра. Яка будова приладу і як він діє? Чому нульова поділка розміщена посередині шкали? У який бік відхилиться стрілка при вказаному напрямку струму?



Мал. 48



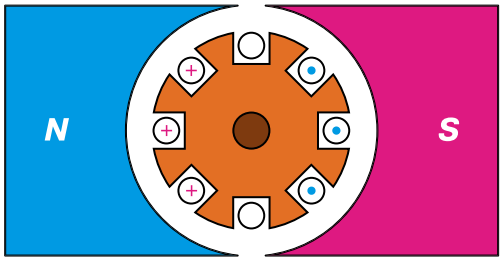
Мал. 49

23. Кінці дротяної рамки (мал. 48), яка розміщена між полюсами магніту, з'єднано з напівкільцями A і B, до яких підводиться струм від джерела струму через щітки k і m. Який буде напрямок струму у витку в момент замикання кола? У якому напрямку обертатиметься рамка?

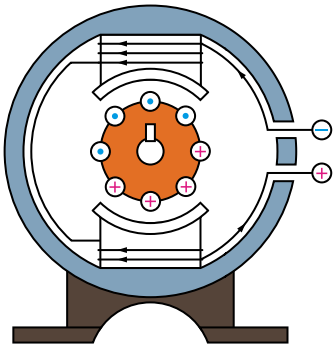
24. На малюнку 49 зображено розріз електродвигуна постійного струму. Якою цифрою позначено колектор; електромагніти; щітки?

25. На малюнку 50 зображено розріз електродвигуна, по обмотці якого проходить струм. У якому напрямку обертається ротор (якір): за годинниковою стрілкою чи проти неї?

26. Яка будова електродвигуна (мал. 51)? Визначте полюси електромагніту і напрямок обертання ротора (якоря).



Мал. 50



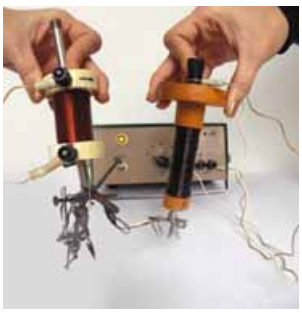
Мал. 51

Рівень Б

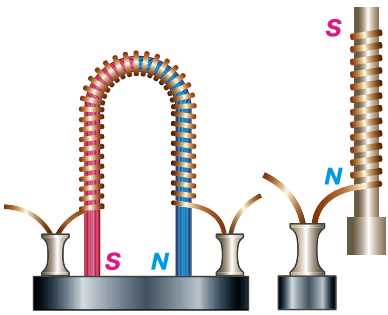
27. Чому до однієї котушки притягується більше цвяхів, ніж до іншої (мал. 52)?

28. Чому доцільніше користуватися підковоподібними, ніж прямими електромагнітами?

29. На малюнку 53 зображено перші електромагніти, які виготовив англійський механік Стерджен. Який напрямок струму в обмотках цих електромагнітів? Чи можна отримати на кінцях підковоподібного магніту однакові полюси? Чому?



Мал. 52



Мал. 53

Мал. 54

30. На малюнку 54 зображено сучасний потужний електромагнітний кран. З яких основних елементів він побудований? Яке його призначення?

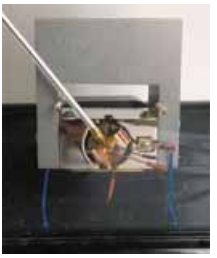
31. Під час роботи електромагнітного підйомного крана частина вантажу не відірвалася від полюсів електромагніту, коли вимкнули струм. Кранівник пропустив крізь обмотку слабкий струм протилежного напрямку, і вантаж відпав. Поясніть чому.

32. Чи можна за допомогою електромагнітного крана піднімати і переносити розжарені шматки сталі?

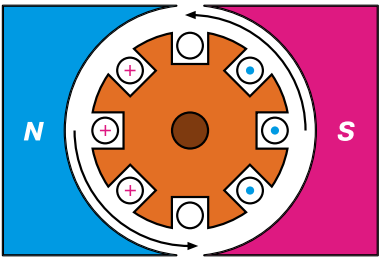
33. На малюнку 55 наведено вимірювальний пристрій амперметра магнітоелектричної системи. Назвіть основні частини амперметра і поясніть, як він діє.

34. На малюнку 56 зображено розріз ротора (якоря) електродвигуна, який розміщено між полюсами магніту. Ротор (якір) обертається в напрямку, показаному стрілками. Який напрямок має струм в обмотці у правій і лівій половинах ротора (якоря)?

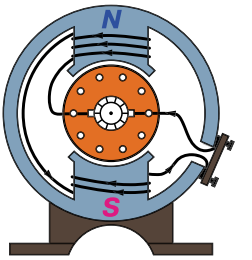
35. Поясніть будову електродвигуна (мал. 57). Як з'єднані між собою обмотки статора (індуктора) і ротора (якоря)?



Мал. 55



Мал. 56



Мал. 57

§ 7. ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ. ДОСЛІДИ ФАРАДЕЯ. ІНДУКЦІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Ви вже знаєте, що електричне поле виникає навколо електричних зарядів, а магнітне – навколо постійних магнітів і постійних електричних струмів, які проходять нерухомими провідниками. Однак цікавішими виявилися дослідження явищ в електричних і магнітних полях, що змінюються із часом. Вони розпочалися після того, як у 1820 р. Ерстед відкрив явища виникнення магнітного поля навколо провідника зі струмом.

Якщо електричний струм створює магнітне поле, то логічно припустити існування оберненого явища: виникнення електричного струму в провіднику під час вміщення його в магнітне поле. Численні спроби виявити таке явище не дали очікуваних результатів. У нерухомих замкнутих

провідниках, уміщених у найсильніші на той час магнітні поля, електричний струм не виникав.

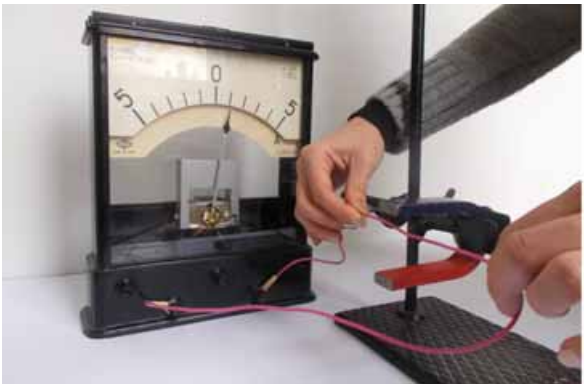
У 1831 р. видатний англійський фізик **Майкл Фарадей** експериментально відкрив явище електромагнітної індукції, що стало підґрунтям створення всієї сучасної електротехніки й радіотехніки. Його не можна було передбачити на основі всіх тогочасних відомостей про магнітні поля й електричні струми. З'ясувалося, що електричний струм усе-таки виникає в нерухомому замкнутому провіднику, вміщеному в магнітне поле, однак лише тоді, коли це магнітне поле змінюється.

Досліди Фарадея, які привели до відкриття явища електромагнітної індукції, досить прості, їх легко відтворити в умовах школи.

Дослід 1. Приєднаємо до гальванометра довгий гнучкий провідник і помістимо його між полюсами магніту (мал. 58). Якщо провідник і магніт нерухомі, то струму в провіднику немає. Тільки-но почнемо рухати провідник, гальванометр одразу фіксуватиме у провіднику наявність струму.

Якщо під час руху провідника в одному напрямку стрілка гальванометра відхиляється, наприклад, праворуч, то під час руху у зворотному напрямку стрілка відхилятиметься ліворуч, що свідчить про зміну напрямку струму в провіднику.

Струм у провіднику виникає і тоді, коли ми переміщуємо магніт відносно провідника.

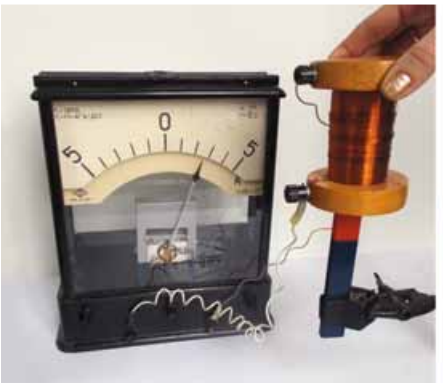


Мал. 58

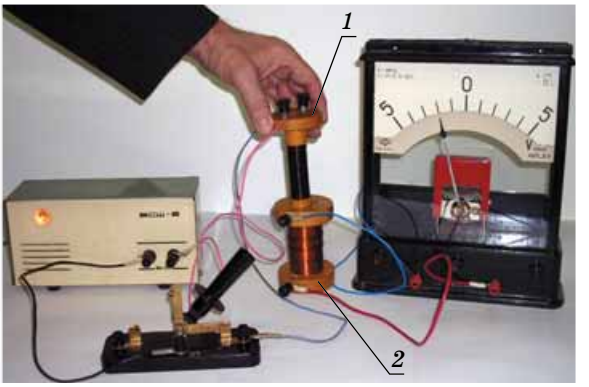
Мал. 59

Дослід 2. Приєднаємо до гальванометра котушку. Коли всередину цієї котушки будемо вводити або витягувати з неї магніт (мал. 59), то гальванометр також фіксуватиме виникнення електричного струму в колі. І цей струм виникає лише під час руху магніту відносно котушки.

Дослід 3. Закріпимо штабовий магніт у штативі і будемо надівати котушку, приєднану до гальванометра, на магніт (мал. 60). У котушці знову виникатиме електричний струм. Цей струм проходить тільки під час руху котушки відносно магніту і змінює свій напрямок під час зміни напрямку руху котушки.



Мал. 60



Мал. 61

Дослід 4. Замкнемо котушку *2* через гальванометр і вставимо всередину неї котушку *1*, яку можна приєднати до джерела струму (мал. 61). У момент замикання кола котушки *1* стрілка гальванометра відхилиться, тобто під час зміни (виникнення) магнітного поля котушки *1* котушкою *2* проходив електричний струм. Однак після встановлення в котушці *1* струму магнітне поле перестає змінюватися, струм у котушці *2* зникає – стрілка гальванометра встановлюється на нулі.

Розімкнемо коло котушки. Зі зникненням у ній струму, а разом з ним і його магнітного поля, стрілка гальванометра відхилиться в протилежний бік. Це означає, що в котушці *2* виникає електричний струм, напрямок якого протилежний до того, що проходив під час замикання котушки *1*. У цих дослідах під час замикання кола котушки *1* виникає магнітне поле, а під час розмикання – зникає. Унаслідок таких змін магнітного поля в котушці виникає змінний струм, який називають **індукційним**. У коло котушки *1* можна ввімкнути реостат і ним змінювати силу струму в колі. Легко переконатися, що під час збільшення сили струму в колі котушки *1* у котушці *2* виникає індукційний струм одного напрямку, а під час зменшення – струм протилежного напрямку. Унаслідок зміни сили струму в котушці *1* змінюється і магнітне поле струму, при цьому в котушці *2* виникає індукційний струм.

Явище виникнення електричного струму в замкнутому контурі, який або нерухомий у змінному магнітному полі, або переміщується в постійному магнітному полі так, що кількість ліній магнітної індукції, які перетинають площу, обмежену контуром, змінюється, називають *електромагнітною індукцією*.

Індукційний струм – електричний струм, що виникає у провідному контурі при зміні індукції магнітного поля через цей контур унаслідок явища електромагнітної індукції.

З наведених прикладів випливає, що індукційний електричний струм виникає під час змін у просторі або в часі інтенсивності магнітного поля, лінії якого охоплюють провідник замкнутого контуру. Вивчаючи

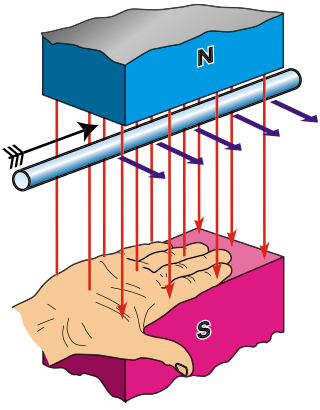
властивості електромагнітів, ми дізналися, що інтенсивність магнітного поля котушки зі струмом можна змінювати, регулюючи в ній силу струму. Бачимо, що такі зміни можна здійснити в різний спосіб.

Ми знаємо, що графічно магнітне поле зображають за допомогою магнітних ліній. Виявляється, що в місцях поля, де його інтенсивність менша, лінії проходять рідше, а де інтенсивність більша, там лінії розміщуються густіше. Поля зі змінними густотою і напрямком ліній називають **неоднорідними**. Якщо густота і напрямок ліній сталі, тобто магнітні лінії паралельні, а відстань між сусідніми лініями однакова, то таке поле називають **однорідним**. До однорідних наближаються магнітні поля всередині довгої котушки зі струмом або у просторі між широкими полюсами постійних магнітів.

Виявилося, що в **замкнутому провідному контурі індукційний струм виникає тільки під час зміни густоти магнітних ліній, що пронизують цей контур.** При цьому **що більша швидкість зміни магнітного поля, то більше значення індукційного струму.** Провідник, рухаючись, має обов'язково перетинати магнітні лінії. Якщо провідник контуру рухається вздовж магнітних ліній або котушка рухається поступально в однорідному магнітному полі, то індукційний струм не виникає.

Індукційний струм, що виникає у провіднику, може мати різні напрямки. Досліди і спостереження показують, що напрямок індукційного струму в провіднику, що рухається в магнітному полі, залежить від напрямку ліній магнітного поля і напрямку руху провідника.

На практиці напрямок індукційного струму в рухомому провіднику визначають за **правилом правої руки** (мал. 62).



Мал. 62

Якщо долоню правої руки розмістити так, щоб у неї входили лінії магнітного поля, а відведений під прямим кутом великий палець указував напрямок руху провідника, то випрямлені чотири пальці визначать напрямок індукційного струму в провіднику.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Наведіть приклади, коли в замкненому провіднику, який міститься в магнітному полі, виникає індукційний струм.
2. Що відбуватиметься, якщо в котушку, з'єднану з гальванометром, вносити всередину магніт або виймати його з котушки?
3. Що відбуватиметься зі стрілкою гальванометра, з'єднаного з провідником, якщо провідник нерухомий або рухається так, що не перетинає силових ліній магнітного поля?
4. Назвіть умови, за яких сила струму в замкненому провіднику збільшується.
5. Що таке явище електромагнітної індукції? Хто його відкрив?
6. Від чого залежить напрямок індукційного струму в провіднику, що рухається в магнітному полі?

Лабораторна робота № 2

Спостереження явища електромагнітної індукції

Мета роботи: дослідити явище електромагнітної індукції.

Прилади і матеріали: джерело струму, ключ, з'єднувальні проводи, реостат, гальванометр, котушка від трансформатора, штабові магніти, електромагніт.

Хід роботи

Для виконання роботи уважно розгляньте малюнки 59–61 (див. с. 33–34).

До гальванометра під'єднайте котушку, у яку може вільно входити магніт.

1. Перевірте, коли в цій котушці виникає індукційний електричний струм. Зробіть висновки.

2. Замість одного магніту скористайтеся двома складеними магнітами, але швидкість їх руху не змінюйте. Як це позначилося на силі індукційного струму?

3. Скористайтесь одним магнітом, але рухайте його з більшою або меншою швидкістю. Спостерігайте за силою індукційного струму. Зробіть висновки.

4. Чи можна зробити загальний висновок про якісне підтвердження закону електромагнітної індукції? Зробіть цей висновок.

5. Опускайте або витягуйте електромагніт з котушки, яка з'єднана з гальванометром.

6. Залишивши електромагніт у котушці, збільшуйте або зменшуйте силу струму в ньому за допомогою реостата.

7. Зробіть висновки, коли в цих дослідах виникає індукційний струм.

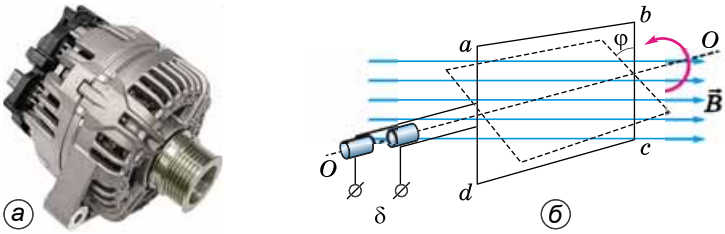
Для допитливих

З'єднайте клеми двох демонстраційних гальванометрів проводами, а потім, похитуючи один з них, ви помітите, що у другому приладі стрілка коливається. Поясніть результати досліду.

§ 8. ГЕНЕРАТОРИ ІНДУКЦІЙНОГО СТРУМУ. ПРОМИСЛОВІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Генераторами електричної енергії (мал. 63, *а*) називають електричні машини, що перетворюють механічну енергію в електричну. Розрізняють генератори постійного і змінного струму. Перші призначено для живлення споживачів електричної енергії постійним струмом, а другі – змінним.

Генератори постійного струму широко застосовуються в сучасній електротехніці. Наприклад, у техніці великих струмів генератори постійного струму використовуються в трамваях, на електричних залізницях і в інших спеціальних електротехнічних установках, де змінний струм використовувати не можна.



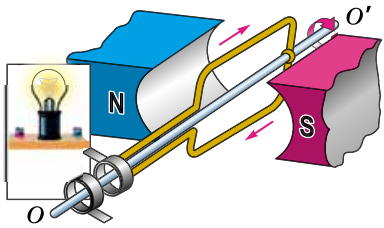
Мал. 63

Генератор змінного струму – електрична машина, у якій механічна енергія перетворюється в електричну за допомогою явища електромагнітної індукції. Більшість генераторів змінного струму використовують обертове магнітне поле.

Технічний індукційний генератор має таку будову.

Якщо виток розріжемо і кінці його з'єднаємо з кінцями зовнішнього кола за допомогою двох ізольованих одне від одного кілець, якими ковзають щітки зовнішнього кола (мал. 63, *б*), то отримаємо схему найпростішого генератора.

На малюнку 64 зображено найпростішу схему генератора змінного струму. Якщо коло замкнути, то в ньому проходитиме змінний індукційний струм. Із зовнішнім колом рамка з'єднується кільцями, закріпленими на одній осі з рамкою. За один оберт рамки полярність щіток змінюється двічі. Щоб збільшити напругу, яку знімають з клем генератора, на рамки намотують не один, а багато витків. У всіх промислових генераторах змінного струму витки, у яких індукується змінний струм, установлюють нерухомо, а магнітна система обертається. Нерухому частину генератора називають статором, а рухому – ротором. Якщо ротор обертати за допомогою зовнішньої сили, то разом з ротором обертатиметься і магнітне поле, яке він створює, при цьому в провідниках статора індукується струм. Електрогенератори, які працюють з гідротурбінами, називають гідрогенераторами, а ті, що працюють з паровими турбінами, – турбогенераторами.



Мал. 64

Як енергоносії людство використовувало силу м'язів, деревину, рушійну силу води, енергію Сонця тощо. У наш час основними енергоносіями стали вуглеводи і сполуки (нафта, газ, вугілля) та ядерне паливо. Як альтернативні енергоджерела майбутнього розглядається енергія Сонця, геотермічна енергія Землі, водень, термоядерна енергія.

Істотних змін структура паливно-енергетичного балансу світового господарства зазнала впродовж останніх ста років.

Якщо в першій половині XX ст. в енергобалансі світового господарства переважало вугілля і мали важливе значення дрова, то в останні десятиліття провідну роль відіграють нафта і газ. Кілька десятиліть на їх частку припадало 3/5 обсягу енергоспоживання. За прогнозами фахівців на початку XXI ст. їх частка знизиться, водночас збереже зна-

чення споживання вугілля і дещо збільшиться роль ядерної енергетики і нетрадиційних (альтернативних) джерел енергії.

Рівень розвитку електроенергетики – один з найважливіших показників науково-технічного прогресу. Обсяги виробництва електроенергії та її виробництво на душу населення опосередковано визначають економічний потенціал та економічний рівень розвитку країни.

Попри гідроенергетичне будівництво (мал. 65), що триває в усьому світі, роль ГЕС в енергопостачанні постійно зменшується. Це пояснюється вищими темпами спорудження ТЕС (мал. 66), що працюють на мінеральному паливі.

За виробництвом електроенергії у світі перед веде теплоенергетика. Теплоелектростанції, що працюють на різних видах палива, розміщуються специфічно. У країнах, які мають великі розробки вугілля, потужні конденсаційні електростанції, що його використовують, прив'язано саме до цих розробок.

Атомна енергетика стала окремою галуззю після Другої світової війни. На сьогодні вона відіграє важливу роль в електроенергетиці багатьох країн світу. Атомні електростанції (АЕС) використовують транспортабельне паливо – уран, їх розміщують незалежно від паливно-енергетичного фактору та орієнтують на споживачів у районах з напруженим паливно-енергетичним балансом (мал. 67).

Вітрові електростанції (ВЕС) використовують енергію вітру, якою здійснюється обертання роторів генераторів (мал. 68).

Мал. 65

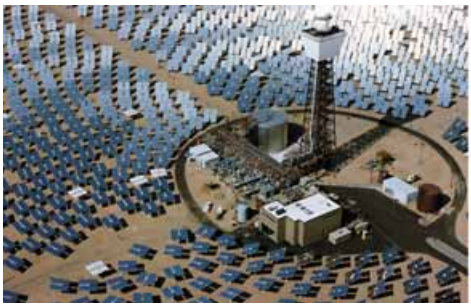
Мал. 66

Мал. 67

Мал. 68

Геліоелектростанції (ГеліоЕС) дають змогу безпосередньо перетворювати енергію Сонця в електричну енергію (мал. 69).

Геотермальні електростанції (геоТЕС) перетворюють теплову енергію Землі в електричну (мал. 70).



Мал. 69

Мал. 70

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

Якщо розмістити дротяний прямокутник у площині магнітного меридіана і рухати його в цій площині, то чи виникатиме в ньому індукційний струм?

Відповідь: ні, тому що сторони прямокутника не перетинають магнітних ліній магнітного поля Земля.

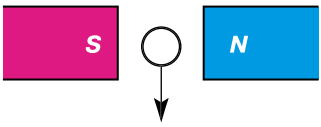
Рівень А

36. Замкнуте залізне кільце рухається в однорідному магнітному полі поступально. Чи виникає струм у кільці? Чому?

37. Визначте напрямок індукційного струму, якщо відомо розміщення полюсів магніту і напрямок руху провідника (мал. 71).

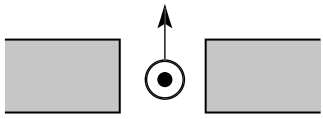
38. Чи індукуватиметься струм, якщо провідник рухати, як показано на малюнку 72?

39. Визначте полюси магніту на малюнку 73, якщо відомо напрямки руху провідника й індукційного струму в ньому.



Мал. 71

Мал. 72



Мал. 73

Рівень Б

40. Рама автомобіля є замкнутим контуром. Чи виникатиме в ній індукційний струм під час руху машини? Магнітне поле Землі поблизу її поверхні вважати однорідним.

41. Провід, з'єднаний із чутливим гальванометром, рухають у магнітному полі Землі із заходу на схід. Як треба розмістити провід – горизонтально чи вертикально, щоб стрілка гальванометра відхилилася на більший кут? Що зміниться в показах гальванометра, якщо провід рухати зі сходу на захід? Чи індукуватиметься струм, якщо рухати провід з півночі на південь?

42. Над котушкою висить на пружині залізний стержень. Що відбуватиметься з ним, якщо котушкою пропускати постійний струм? Змінити напрямок струму в котушці? Змінювати силу струму в котушці?

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Майкл Фарадей

Майкл Фарадей (1791–1867) – англійський фізик, член Лондонського королівського товариства. Народився в передмісті Лондона в сім'ї коваля. Через нестатки родини не мав системної освіти. Слухаючи публічні лекції **Гемфрі Деві**, попросив узяти його на роботу в Королівський інститут. Працював в інституті з 1813 р. У 1825 р. очолив лабораторію в Королівському інституті, з 1827 р. працював професором кафедри хімії.

Виконав фундаментальні дослідження з електромагнетизму. Поставив собі за мету «перетворити магнетизм в електрику», тобто отримати електричний струм з магнітного поля. У 1831 р. відкрив явище електромагнітної індукції, здобувши індукційний струм у вторинній обмотці, замикаючи й розмикаючи струм у первинній обмотці.

Фарадей детально дослідив явища електромагнітної індукції і самоіндукції, висловив передбачення, що електричні й магнітні дії передаються від тіла до тіла не безпосередньо, а переносяться через діелектричне середовище, розміщене між ними.

У 1833–1834 рр. установив закони електролізу й запровадив основну термінологію цього явища. Увів поняття електричного і магнітного поля, сформулював поняття про електричні й магнітні силові лінії. Після праць Фарадея матерію почали розглядати не тільки у формі речовини, а й у формі поля. У 1843 р. експериментально довів закон збереження електричного заряду. Зробив відкриття з фізики магнетизму (1845) і дії магнітного поля на світло (1846).

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Чому магнітні властивості постійних магнітів зменшуються або зникають зовсім, якщо вони зазнають механічних ударів?
2. Як пояснити, що магнітні лінії постійного магніту не перетинаються?
3. Чому магнітна стрілка біля провідника зі струмом повертається і змінює свій напрямок?
4. Як Ампер пояснював намагнічування заліза?
5. Чому дослід Ерстеда мав таке велике значення для подальшого розвитку електродинаміки?
6. Як взаємодіють паралельні провідники зі струмом?
7. Чому речовини, що містять залізо, сталь, нікель, уміщені в магнітне поле, намагнічуються?
8. Як виготовити сильний електромагніт, якщо перед конструктором поставлено вимогу, щоб струм в електромагніті був порівняно малий?

9. Електромагніти, які використовують у підйомному крані, мають величезну потужність. Електромагніти, за допомогою яких, наприклад, видаляють з очей залізні ошурки, навпаки – дуже слабкі. Якими способами досягають такої відмінності?
10. За допомогою якого пристрою можна безперервно обертати рамку зі струмом у магнітному полі?
11. Опишіть будову і роботу електродвигуна.
12. Довгий ізольований дріт складають удвоє і намотують на котушку. Кінці дроту приєднують до гальванометра. Чи виникне струм у котушці при введенні в неї штабового магніту?

Що я знаю і вмію робити

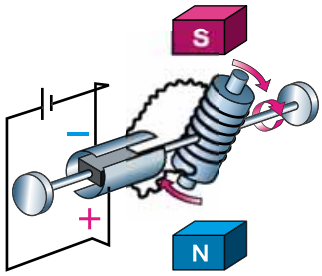
Я знаю, де використовують магнітні матеріали.

1. Які магнітні матеріали використовують у предметах, зображених на малюнку 74?

Я вмію пояснювати, як працюють електричні прилади і пристрої.

2. На малюнку 75 зображено схему приладу. Що це за прилад? Поясніть, як він працює.

Мал. 74



Мал. 75

3. Назвіть, у яких побутових пристроях використовуються електродвигуни. Поясніть, як вони працюють.

Я знаю, як працює велосипедний генератор.

4. Назвіть основні частини велосипедного генератора (динамо-машини, або динамо) (мал. 76). Поясніть, як він працює. Для чого він призначений?

Мал. 76

5. Чому від велосипедного генератора йде тільки один провід до електричних ламп переднього та заднього освітлення?

Я вмію виготовляти прилади і виконувати експеримент.

Мал. 77

6. Який пристрій виготовив учень (мал. 77)? За яких умов цей пристрій діятиме?

7. До одного з полюсів магніту начіпляйте дрібних цвяхів у вигляді гірлянди. Перевірте, яким полюсом (одно- чи різнойменним) треба переміщати зверху вниз другий магніт, щоб цвяхи один за одним відпадали від першого магніту. Поясніть спостережуване явище.

8. Випробуйте, чи притягує залізні ошурки магніт через папір, скло, мідь та інші речовини.

Я знаю, як визначають полюси магнітів та полюси джерел живлення, намагніченість речовин.

9. За допомогою компаса визначте полюси магніту, загорнутого в папір.

10. Треба дозарядити свинцеві акумулятори, але не видно позначень полюсів. Як визначити полярність, якщо ви маєте магнітну стрілку або компас, провідники і реостат?

11. Як дізнатися, який із двох сталевих стержнів намагнічений?

Я знаю, чому спеціальні науково-дослідні судна мають специфічну конструкцію.

12. Чому науково-дослідні судна для вивчення магнітного поля Землі будують не сталевими, а дерев'яними і для скріплення деталей використовують гвинти з бронзи, латуні та інших немагнітних матеріалів?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. У техніці використовують, зокрема, сталь, чавун, нікель, кобальт. Які з перелічених металів притягуються магнітами?

А чавун **Б** кобальт **В** нікель **Г** сталь **Д** усі перелічені метали

2. Підвішений на нитці магніт повертається в напрямку північ–південь. Яким полюсом магніт повернеться до північного магнітного полюса Землі?

А північним **Б** південним **В** жодним

3. Що таке магнітна аномалія?

А розмагнічування стрілки компаса внаслідок сильного нагрівання
Б постійне і значне відхилення від норми напрямку магнітного поля в деяких місцях

4. Навколо яких зарядів існує магнітне поле?

А навколо нерухомих і рухомих електричних зарядів
Б навколо нерухомих електричних зарядів
В навколо рухомих електричних зарядів

5. Біля провідника зі струмом розмістили магнітну стрілку. Що з нею станеться, якщо зміниться напрямок струму в провіднику?

А стрілка повернеться на 180° **Б** стрілка повернеться на 90°
В стрілка повернеться на 45° **Г** стрілка залишиться нерухомою

6. Як зміниться магнітне поле котушки зі струмом, якщо в неї, не змінюючи струму, помістити залізне осердя?

А посилиться **Б** послабиться **В** не зміниться

7. Ви знаєте, що на провідник зі струмом, розміщений між полюсами магніту, діє сила і провідник рухається. У яких пристроях використовують це явище?

А в електродвигунах
Б в електронагрівальних приладах
В в електромагнітних кранах

8. Що потрібно зробити, щоб змінити магнітні полюси котушки зі струмом на протилежні?

А змінити напрямок струму **Б** змінити силу струму
В увести всередину котушки залізне осердя **Г** вийняти залізне осердя

9. Які пристрої застосовують для регулювання струму в котушці електромагніту?

А запобіжник **Б** реостат **В** ключ

10. Що є надійним захистом людини на Землі від космічного випромінювання?

А земна атмосфера **Б** магнітне поле Землі
В земна атмосфера і магнітне поле Землі

11. Хто перший побудував електродвигун?

А А. Ампер **Б** Дж. Джоуль **В** К. Г. Якобі **Г** Е. Х. Ленц

12. У яких джерелах електроенергії використовують енергію Сонця?

А акумуляторах **Б** термопарах **В** сонячних батареях

Варіант 2

1. До кінця сталевого стержня притягуються південний і північний полюси магнітної стрілки. Чи намагнічений стержень?

А так, тому що в іншому випадку стрілка не притягувалася б
Б остаточно не можна сказати
В ні, до намагніченого стержня притягувався б тільки один полюс

2. У чому полягає головна причина появи магнітних бур?

А сильні урагани на Землі **Б** землетруси
В сонячна активність **Г** ультрафіолетове випромінювання

3. Яке фізичне явище демонструється в досліді Ерстеда?

А взаємодія провідників зі струмом **В** взаємодія наелектризованих тіл
Б взаємодія магнітної стрілки і провідника зі струмом

4. Як зміниться дія магнітного поля котушки зі струмом, якщо цю котушку замінити іншою – з більшою кількістю витків?

А збільшиться **Б** зменшиться **В** не зміниться

5. Потік зерна на жорна млина пропускають між полюсами сильного магніту. Навіщо?

А для підсушування зерна **Б** для відбору кращого зерна
В для очищення зерна від насіння бур'янів і залізних предметів

6. Що таке магнітна аномалія?

А намагнічення стрілки компаса внаслідок сильного нагрівання
Б постійне і значне відхилення від норми напрямку магнітного поля в деяких місцевостях
В зміна магнітного поля Землі внаслідок космічного випромінювання

7. Як поводитиметься котушка зі струмом, якщо закріпити її на дощечці й опустити на поверхню води в широкій посудині?

А повернеться в напрямку південь–північ **Б** залишиться нерухомою
В повернеться перпендикулярно до напрямку південь–північ

8. Яка причина повороту алюмінієвої рамки в електровимірювальному приладі магнітоелектричної системи?

А дія магнітного поля постійного магніту на алюмінієву рамку
Б теплова дія електричного струму в рамці
В дія магнітного поля на провідник зі струмом

9. Які взаємні перетворення енергії відбуваються в електричному двигуні?

А механічна – в електричну **Б** механічна – у механічну
В електрична – у механічну **Г** електрична – в електричну

10. Хто вперше провів дослід щодо взаємодії провідника зі струмом і магнітною стрілкою?

А А. Вольта **Б** Л. Гальвані **В** Г. К. Ерстед **Г** Дж. Джоуль

11. Який електровимірювальний прилад призначено для вимірювання напруги? На чому ґрунтується його дія?

А амперметр; взаємодія електричних полів
Б вольтметр; взаємодія електричного і магнітного полів
В амперметр; взаємодія електричного і магнітного полів
Г вольтметр; взаємодія електричних полів

12. У яких джерелах електроенергії використовують енергію тепла?

А в акумуляторах **Б** у термопарах **В** у сонячних батареях

Розділ 2
СВІТЛОВІ ЯВИЩА

• Світлові явища • Джерела й приймачі світла • Швидкість поширення світла • Світловий промінь і світловий пучок • Закон прямолінійного поширення світла • Сонячне та місячне затемнення • Відбивання світла • Закон відбивання світла • Плоске дзеркало • Заломлення світла на межі поділу двох середовищ • Закон заломлення світла • Дисперсія світла • Спектральний склад природного світла • Кольори • Лінзи • Оптична сила й фокусна відстань лінзи • Формула тонкої лінзи • Отримання зображень за допомогою лінзи • Найпростіші оптичні прилади • Окуляри • Око як оптичний прилад • Зір і бачення • Вади зору та їх корекція

§ 9. СВІТЛОВІ ЯВИЩА. ДЖЕРЕЛА Й ПРИЙМАЧІ СВІТЛА. ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА

Ми живемо у світі різноманітних світлових явищ. Багато з них, наприклад, вид зірок на вечірньому небосхилі (мал. 78), веселка (мал. 79), полярні сяйва (мал. 80) у полярних широтах, а також подібні сяйва у середніх широтах, мальовничі й красиві.

Сонце освітлює Землю, електрична лампа – кімнату. Чайна ложка, якщо помістити її у склянку з водою, сприймається зламаною, на поверхні озера ми бачимо хмари, що пливуть у небі. *Чому?*

Мал. 78

Мал. 79

Мал. 80

При освітленні предметів сонячним світлом або світлом від лампи ми бачимо їх різнокольоровими, а з настанням ночі – темними, сірими. *Що таке колір, чому в різних умовах спостережень кольори предметів змінюються?*

Щоб відповісти на ці та інші запитання, потрібно вивчити різні джерела світла і закони його поширення, дію світла на фізичні тіла.

Учення про світло і світлові явища називають *оптикою*.

Завдяки винаходу і використанню лінз було створено оптичні прилади, без яких на сьогодні складно уявити собі повсякденне життя: окуляри, лупи, мікроскопи, біноклі, фотоапарати, телескопи тощо.

Темної ночі або в затемненій кімнаті ми практично нічого не бачимо. Запаливши свічку, відразу побачимо її полум'я. Одночасно ми побачимо саму свічку, інші предмети, що знаходяться в кімнаті (мал. 81).

Мал. 81

Що потрібно для того, щоб бачити предмети?

1. Джерело світла. Полум'я свічки випромінює світло, яке поширюється в усіх напрямках. Свічка – джерело світла. Предмети, що містяться в кімнаті, за відсутності світла невидимі. Якщо ці предмети освітлюють свічкою, ми їх бачимо, тому що світло відбивається від них.

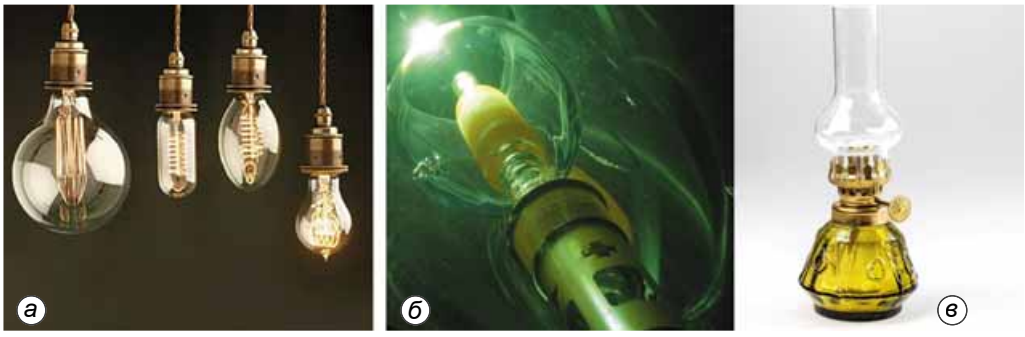
2. Очі. Око людини, сприймаючи світло, що поширюється від якогонебудь джерела світла, дає змогу нам бачити це джерело. Так ми бачимо полум'я свічки та інші освітлені предмети.

Джерела світла – це тіла, які випромінюють світло.

За характером випромінювання розрізняють **теплові** і **люмінесцентні** (лат. *lumen* – «світло, холодне свічення») джерела світла. У теплових джерелах світла свічення досягається за рахунок нагрівання тіл до високих температур. Наприклад, тіла за температури 800 °С починають випромінювати світло.

Тепловими джерелами світла є Сонце, зірки, лампи розжарювання (мал. 82, *а*), дугова лампа (мал. 82, *б*), гасова лампа (мал. 82, *в*), вулканічна лава і т. д.

Але світло можуть випромінювати і тіла, що мають температуру навколишнього середовища. Такі тіла називають люмінесцентними джерелами світла. Люмінесценція виникає в речовинах під час різних хімічних реакцій. Тихої літньої ночі на лісовій поляні можна побачити гнилий пеньок, що світиться. Це світяться бактерії, які викликають процес гниття. Світяться також гриби, що ростуть навколо пенька.



Мал. 82

Мал. 83

Мал. 84

Цікаво спостерігати світлячків (мал. 83) – маленьких жучків, у верхній частині черевця яких є особлива речовина, що світиться.

У морях і океанах світиться вода, причина цього – численні дрібні організми, що світяться. Світяться медузи (мал. 84), глибоководні риби.

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Учені добре вивчили світіння жуків-світлячків. Їх органи свічення складаються з клітин, що містять дві білкові речовини – люциферин і фермент люцифераза (лат. *lucifer* – «носій світла»). Люциферин за присутності люциферази окислюється, і при цьому виділяється енергія, велика частина якої (до 92 %) перетворюється на світло.

Серед тварин, які живуть на суходолі, світяться дуже мало, а ось серед мешканців морів й океанів свічення дуже поширене. Багато тварин живе на великій глибині, куди не доходить сонячне світло. Існують риби, у яких органи, що світяться, розташовані по всьому тілу, як гірлянди електричних ламп.

У деяких тварин світлові органи складаються з клітин, що відбивають і заломлюють світло. Інші тварини можуть світитися за рахунок мікроорганізмів, що живуть у них.

Існують **природні** і **штучні** джерела світла. До природних джерел належать, наприклад, Сонце, зірки, блискавки, комахи, що світяться, рослини, риби, бактерії. До штучних – полум'я свічки, вогнища, екран комп'ютера, електричні лампи, газосвітні й люмінесцентні лампи: неонові, денного світла, ртутні, галогенні (мал. 85).

Мал. 85

А що ми називаємо приймачами світла?

Приймачі світла – це тіла, чутливі до світла.

Це, наприклад, наші очі. Світло, що падає на зоровий нерв, подразнює його. Це подразнення передається в головний мозок, формуючи зорове зображення.

Мал. 86

Мал. 87

Якщо на кіно-, фотоплівку (нині – ще й на світлочутливу матрицю цифрового фотоапарата чи відеокамери) або фотопапір потрапляє відбите від навколишніх предметів світло, на них утворюються зображення цих предметів (мал. 86, 87).

Коли на сонячні батареї, установлені на літаку (мал. 88), космічному кораблі, супутнику або на даху будинку, падає світло, вони виробляють електричний струм, який використовують для живлення різних електроприладів. Невеликі сонячні батареї застосовують для живлення кишенькових ліхтариків, мікрокалькуляторів і мобільних телефонів (мал. 89).

Мал. 88

Мал. 89

Практично всі живі істоти на Землі потребують світла і є його приймачами. Так, світло потрібне для нормального зростання і розвитку рослин. На малюнку 90 показано дві капустини, одну з яких вирощено за недостатнього освітлення, а другу – у звичайних умовах. У першому випадку капустина світла, а у другому – яскраво-зелена і має великі розміри.

На різних етапах розвитку фізики використовували різні способи вимірювання швидкості поширення світла. Першим її спробував розрахувати Галілей, але йому не вдалося цього зробити. У XVII ст. її вперше визначив датський астроном **Оле Ремер**, вивчаючи рухи супутника Юпітера – Іо. Реєструючи його появу із-за планети, він отримав

Мал. 90

приблизні дані швидкості поширення світла – 215 000 км/с. Американський фізик **Альберт Майкельсон** розробив досконалий метод вимірювання швидкості поширення світла із застосуванням обертових дзеркал. Було визначено швидкість у різних прозорих речовинах. У 1862 р. французький фізик **Жан Фуко** застосував для вимірювання швидкості світла в повітрі й воді метод обертового дзеркала, ідея якого належить **Домініку Араго.** Визначаючи швидкість поширення світла у воді, учений з'ясував, що вона менша від швидкості поширення світла в повітрі. Точне порівняння швидкості світла у воді та в повітрі, яке здійснив Майкельсон, показало, що швидкість у воді в 1,33 раза менша, ніж у повітрі. За сучасними даними швидкість поширення світла у вакуумі дорівнює 299 792 458 ± 1,2 м/с.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке джерела світла? Якими вони бувають?
2. Наведіть приклади природних і штучних джерел світла.
3. Які приймачі світла ви знаєте?
4. Що ви можете розповісти про швидкість поширення світла?

§ 10. СВІТЛОВИЙ ПРОМІНЬ І СВІТЛОВИЙ ПУЧОК. ЗАКОН ПРЯМОЛІНІЙНОГО ПОШИРЕННЯ СВІТЛА. СОНЯЧНЕ ТА МІСЯЧНЕ ЗАТЕМНЕННЯ

Якщо між оком і яким-небудь джерелом світла розмістити непрозорий предмет, ми не побачимо джерела світла. Це пояснюється тим, що **в однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.** Середовище називають однорідним, якщо густина речовини, з якої воно складається, в усіх точках однакова.

Про прямолінійне поширення світла ще за 300 років до нової ери писав засновник геометрії Евклід. Цілком можливо, що поняття прямої лінії виникло з уявлень про прямолінійне поширення світла в однорідному середовищі.

Світло від будь-якого джерела, наприклад електричної лампи, поширюється в усіх напрямках. Якщо від джерела світла провести пряму лінію, ми отримаємо **промінь світла.**

Промінь світла – це уявна лінія, уздовж якої поширюється світло.

Якщо світлові промені обмежити певною поверхнею у просторі, то ми отримаємо **світловий пучок.**

Світлові пучки можна спостерігати в повітрі, що містить достатню кількість порошинок, які відбивають світло. Ви, звичайно, бачили світлові пучки від кишенькового ліхтарика, прожектора (мал. 91), кінопроектора. У природі часто можна спостерігати великі світлові пучки, що утворюються під час проходження сонячних променів через розриви у хмарах, просвіти у кронах дерев (мал. 92). У чистому повітрі світлових пучків не видно.

Мал. 91

Мал. 92

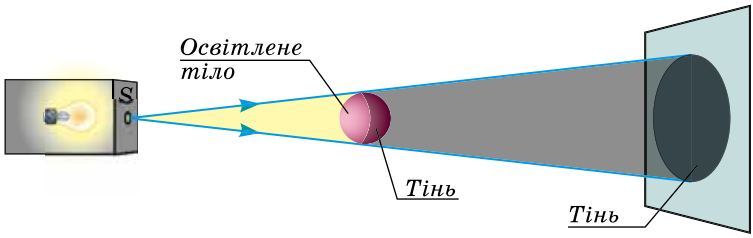
Унаслідок того, що в однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно, ми можемо спостерігати **тіні** і **півтіні, фази Місяця, сонячні** і **місячні затемнення.**

Тінь – частина простору за непрозорим предметом, куди не проникає світло.

У сонячний день чітко видно тіні людей, будівель, дерев та інших предметів (мал. 93).

Помістимо невелику непрозору кулю у світловий пучок, що падає на екран від джерела світла невеликих розмірів. За кулею у просторі утворюється конусоподібна тінь, а на екрані з'являється тінь, що має форму круга (мал. 94).

Мал. 93

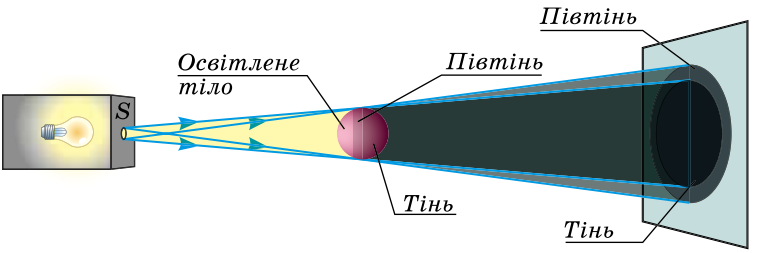


Мал. 94

Якщо розміри джерела світла набагато менші за відстань від джерела світла до екрана, то таке джерело називають **точковим джерелом світла.**

Візьмемо джерело світла, розміри якого більші порівняно з відстанню від нього до екрана, і повторимо дослід. Навколо тіні на екрані утворюється частково освітлений простір – **півтінь** (мал. 95).

Утворення півтіні також підтверджує закон прямолінійного поширення світла. У даному випадку джерело світла складається з багатьох точкових джерел, кожне з яких випромінює світло. На екрані є ділянки,



Мал. 95

у які світло від одних точкових джерел потрапляє, а від інших – ні, там і утворюється півтінь. У центральну частину екрана не потрапляє світло від жодного точкового джерела, там спостерігається повна тінь.

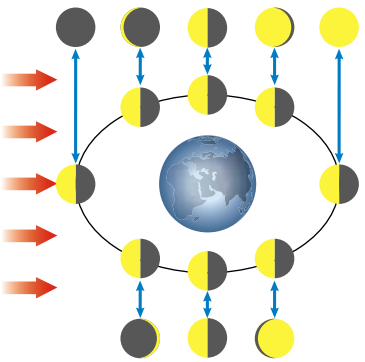
Тіньовими проекціями користуються в театрі тіней (мал. 96), для демонстрації дослідів, наприклад для показу демонстрації броунівського руху (мал. 97) тощо.

Мал. 96

Мал. 97

Місяць – природний супутник Землі. Протягом місяця ми можемо спостерігати, як змінюється форма видимої із Землі частини Місяця.

Різні форми видимої із Землі частини Місяця називають *фазами Місяця*.



Мал. 98

Ще у глибоку давнину люди могли пояснити явище зміни місячних фаз (мал. 98).

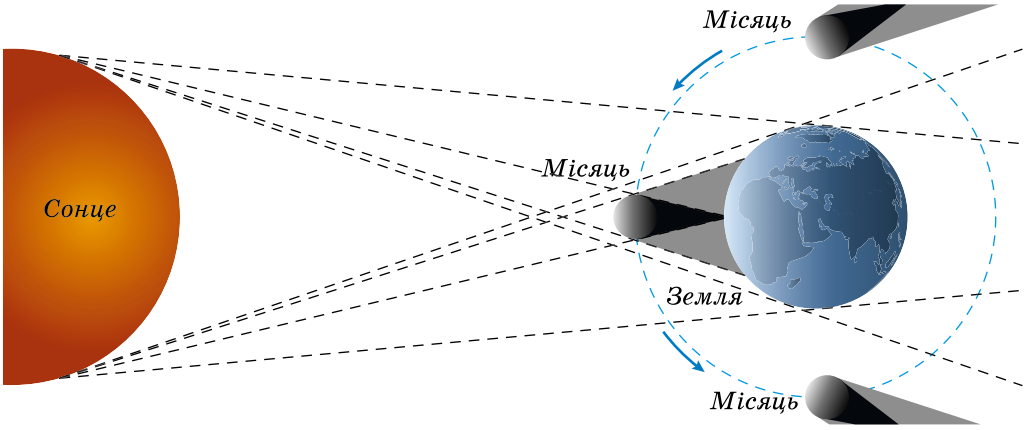
Фази Місяця пояснюються взаємним розташуванням Сонця, Місяця і Землі, а також тим, що Місяць власного світла не випромінює, а відбиває сонячне. Сонце знаходиться на великій відстані від Місяця, тому пучок сонячних променів, що падає на Місяць, можна вважати паралельним. Унаслідок цього освітлюється тільки половина Місяця, а друга його половина залишається в тіні. Рух Землі і Місяця приводить до того, що до Землі можуть бути одночасно обернені світла і темна частини Місяця, і тоді він здається нам неповним. Різні

Мал. 99

Мал. 100

фази Місяця зображено на малюнках 99 і 100. Коли Місяць проходить між Сонцем і Землею, до нас обернено його темний бік. Тоді Місяця зовсім не видно. Цю фазу називають **молодиком**. Через 2 дні, коли Місяць переміститься на схід від Сонця, до нас буде обернена невелика частина освітленої півкулі Місяця – буде видно вузький серп. Ще через 5 днів ми побачимо праву половину світлої півкулі Місяця – **першу чверть**. За 2 тижні після нового Місяця настає наступна місячна фаза – **повний місяць**. Після повного Місяця його освітлена частина починає зменшуватися – настає **остання чверть**, і ми бачимо ліву половину півкулі Місяця. У наступні дні Місяць набуває форми серпа, і, нарешті, його не видно – знову настає молодик.

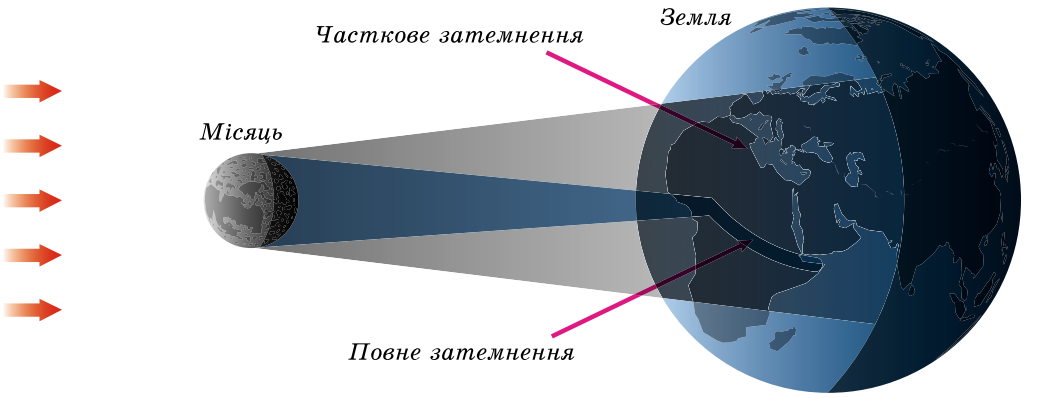
У космічних масштабах тінь і півтінь можна спостерігати під час сонячних і місячних затемнень. Планети та їх супутники, що освітлюються Сонцем, утворюють тіні і напівтіні. На малюнку 101 зображено тіні і напівтіні, які утворені Землею і Місяцем.



Мал. 101

Якщо Місяць у ході свого руху навколо Землі в якийсь момент виявляється між Землею і Сонцем, він утворює на земній поверхні тінь, і тоді на цих територіях спостерігається **сонячне затемнення**.

Сонячні затемнення бувають тільки під час нового Місяця. Їх можна спостерігати лише на тих ділянках поверхні Землі, на які падає тінь або півтінь Місяця (мал. 102). Якщо ділянка знаходиться в тіні Місяця, то

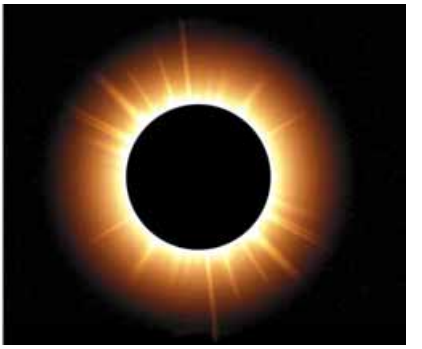


Мал. 102

спостерігається **повне** затемнення Сонця; для ділянок, що знаходяться в півтіні, сонячне затемнення буде **частковим.**

У зв'язку з тим, що Місяць рухається із заходу на схід, затемнення починається на західному (правому) краю Сонця. На початку затемнення на диску Сонця з'являється невелика «щербина», яка поступово збільшується, і Сонце набуває форми вузького серпа (мал. 103). Коли диск Місяця повністю закриє Сонце, ми побачимо навколо нього дивовижне сяйво – **корону Сонця** – частину розжареної сонячної атмосфери (мал. 104).

Мал. 103



Мал. 104

Під час повного сонячного затемнення швидко темніє. На небі стає видно зірки і планети. Знижується температура повітря, іноді випадає роса. У небі видно чорний диск з палаючою навколо нього сонячною короною. У давні часи вважали, що це величезний дракон пожирає Сонце.

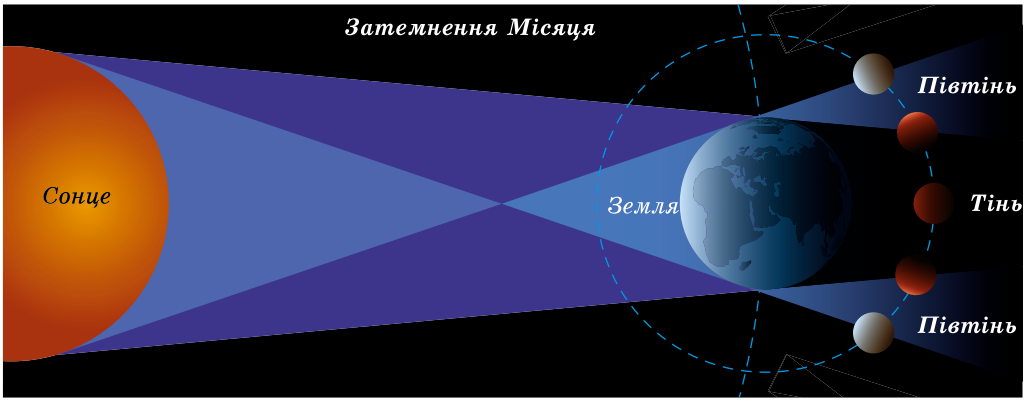
Подальше переміщення Місяця приводить до того, що через деякий час знову стає видно вузький сонячний серп, а сонячну корону вже не видно. Диск Місяця переміщається все далі у східному напрямку, і незабаром на небі знову яскраво світить Сонце.

Повне затемнення може тривати не більше ніж 8 хвилин, зазвичай 2–3 хвилини. У різних точках поверхні Землі сонячне затемнення не тільки спостерігається по-різному, але й настає в різний час. Це пояснюють

тим, що внаслідок руху Місяця навколо Землі тінь Місяця (область повного затемнення) рухається по поверхні Землі із заходу на схід зі швидкістю 1 км/с. Повне затемнення можна спостерігати в межах смуги завдовжки в кілька тисяч кілометрів і завширшки 270 км. На решті частини поверхні Землі це затемнення спостерігається як часткове або не спостерігається.

Повне сонячне затемнення на Землі можна спостерігати один раз на півтора року, а ось в одному і тому самому місці земної поверхні – рідко, лише один раз на 300 років.

Коли Місяць потрапляє в тінь Землі, настає місячне затемнення (мал. 105).



Мал. 105

Місячні затемнення відбуваються тільки при повному Місяці. Оскільки Місяць рухається із заходу на схід, то коли він, переміщаючись, починає заходити в тінь Землі, на місячному диску з'являється «щербина», що поступово збільшується в розмірах. Місяць набуває форми серпа, що на вигляд різко відрізняється від звичайних місячних фаз (мал. 106).

Мал. 106

Затемнення Місяця буде повним, якщо він повністю увійде в тінь Землі. Якщо ж він переміщується лише по частині області земної тіні, затемнення буде частковим.

Діаметр земної тіні значно більший від діаметра місячного диска, тому повне місячне затемнення триває порівняно довго, близько 2 годин.

Картина місячного затемнення виглядає однаково під час спостереження з будь-якої точки поверхні Землі, зверненої в цей час до Місяця, і у всіх цих точках воно починається і закінчується одночасно.

При повному затемненні місячний диск стає темно-червоного кольору.

Космонавт, який перебував би в цей час на Місяці, міг би спостерігати чорний диск Землі із червоним кільцем навколо нього.

Кожні 18 років відбувається 29 місячних затемнень, але інтервали часу між ними різні. Так, упродовж року може не спостерігатися жодного місячного затемнення, а наступного року їх буде 2 або 3.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як поширюється світло в однорідному середовищі?
2. Що таке промінь світла?
3. Яке джерело світла ми вважаємо точковим?
4. Які явища свідчать про прямолінійне поширення світла?
5. Назвіть основні фази Місяця.
6. Коли виникають сонячні і місячні затемнення?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Чи є Місяць джерелом світла?

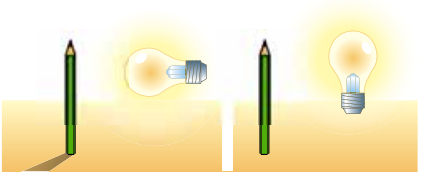
Відповідь: ні; також слід звернути увагу – в літературі є описи про те, що Місяць є потужним джерелом світла, – це є неправильним твердженням.

2. На малюнку 88 (див. с. 49) зображено літак «Геліос», який живиться від сонячних батарей. У 2001 році він установив рекорд висоти, піднявшися на 29 413 м. Сонячні батареї є джерелами чи приймачами світла?

Відповідь: сонячні батареї є приймачами світла, які є джерелами електричного струму.

3. Чому в першому випадку на столі є тінь (мал. 107), а у другому – ні?

Відповідь: це залежить від розміщення нитки розжарювання електролампи.



Мал. 107

Рівень А

43. На якому малюнку (мал. 108, 109) зображено джерело світла, а на якому – приймач світла?

Мал. 108

Мал. 109

Мал. 110

Мал. 111

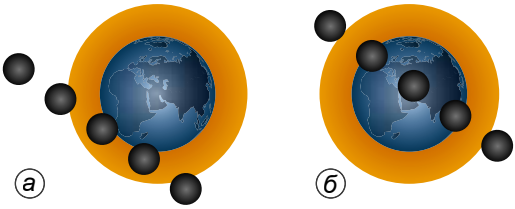
44. Лимони освітлюють джерелами світла (мал. 110). Чим відрізняються ці джерела світла?

45. На малюнку 111 зображено сонячні годинники. Поясніть, як вони працюють. Коли може працювати сонячний годинник?

46. Користуючися малюнком 112, визначте, у яких фазах знаходиться Місяць.

Мал. 112

47. Затемнення Місяця може бути повним і частковим. На якому з малюнків (мал. 113, *а*, *б*) зображено повне затемнення Місяця, а на якому – часткове? Поясніть, чому відбуваються затемнення Місяця.



Мал. 113

Мал. 114

48. Художник намалював Місяць. Схарактеризуйте картину з точки зору фізики (мал. 114).

49. Фотограф під час монтажу переплутав етапи сонячного затемнення (мал. 115). Відновіть правильний порядок, пронумерувавши кожен етап затемнення.

Мал. 115

Рівень Б

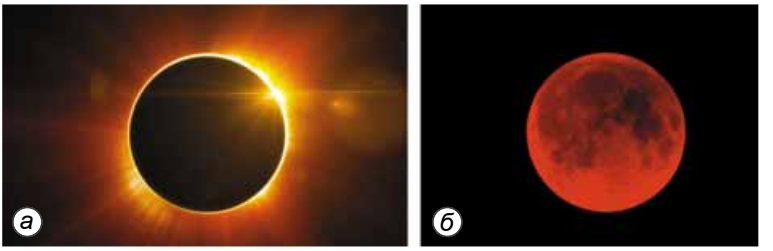
50. Чому фотопапір або кіно-, фотоплівку дуже ретельно оберігають від потрапляння на них денного світла?

51. У чому полягає прицілювання для стрільби з гвинтівки в олімпійських видах спорту?

52. Чи може тіло давати на екрані тільки півтінь? За яких умов це можливо?

53. Чому в кімнаті, освітленій єдиною лампою, утворюються різкі тіні від предметів, тоді як у кімнаті, де джерелом світла є люстра з кількома лампочками, таких різких тіней не спостерігають?

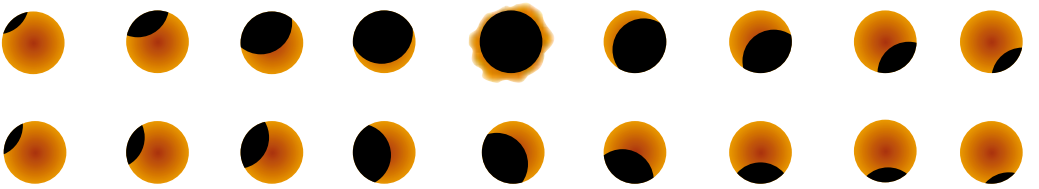
54. Чому під час повного сонячного затемнення видно лише сонячну корону, а самого Сонця не видно (мал. 116, *а*), а під час повного затемнення Місяця видно тільки, як він набуває темно-червоного кольору (мал. 116, *б*)?



Мал. 116

55. Під час сонячного затемнення на Землю падають тінь і напівтінь від Місяця. Чи бачить Сонце людина, яка знаходиться в тіні? Напівтіні? Відповідь обґрунтуйте.

56. На малюнку 117 зображено сонячні затемнення. Чим вони відрізняються між собою?



Мал. 117

§ 11. ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ЗАКОН ВІДБИВАННЯ СВІТЛА. ПЛОСКЕ ДЗЕРКАЛО

Коли світло падає на поверхню якого-небудь тіла, частина світла відбивається від поверхні і поширюється у просторі. Таке явище називають **відбиванням світла.**

Поверхні тіл можуть бути гладкими або шорсткими. Коли, перебуваючи в кімнаті, ми дивимося на шорстку поверхню, наприклад на поверхню стола, підлоги, стіни, ми бачимо цю поверхню. А ось поверхня

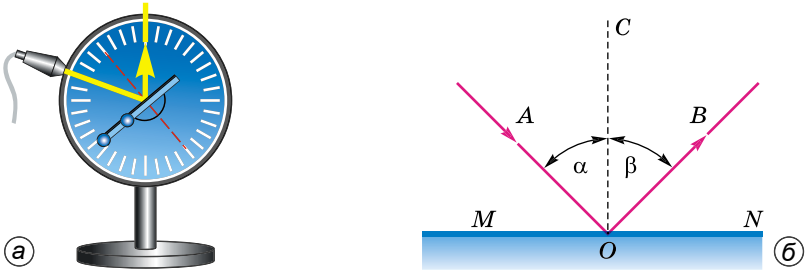
чистого дзеркала невидима, зате у дзеркалі видно зображення предметів (мал. 118). Якщо поверхню дзеркала послідовно покривати шарами розведеної у воді крейди, зображення врешті-решт зникне, і ми спостерігатимемо шорстку поверхню – шар крейди. Ретельно відполірувавши одну з граней мідного бруска, ми можемо зробити його поверхню дзеркальною. Існують також і природні дзеркальні поверхні, наприклад спокійна водна поверхня озера (мал. 119).

Мал. 118

Мал. 119

Розглянемо, як світло відбивається від дзеркальної поверхні.

Дослід. За допомогою спеціального приладу (мал. 120, *а*) направимо на дзеркальну поверхню в точку *O* пучок світла так, щоб промінь світла *OA* (мал. 120, *б*) лежав у площині приладу. Дійшовши до поверхні, пучок світла змінює напрямок свого поширення – відбувається відбивання світла.



Мал. 120

У результаті досліду побачимо, що відбитий промінь світла *OB* також лежить у площині приладу. Змінюватимемо напрямок падаючого променя світла, пересуваючи джерело світла, при цьому буде змінюватися і напрямок відбитого променя світла зі збереженням усіх його властивостей. Але обидва промені світла завжди лежатимуть у площині приладу. Таким чином, ми встановили перший закон відбивання світла.

Промінь світла падаючий, промінь світла відбитий і перпендикуляр, проведений у точку падіння світла, лежать в одній площині.

Цей дослід дає нам змогу встановити і другий закон відбивання світла.

Пряма MN – дзеркальна поверхня, AO – падаючий промінь світла, OB – відбитий промінь світла, OC – перпендикуляр до поверхні в точці падіння світла. Кут, утворений падаючим променем світла і перпендикуляром OC, називають **кутом падіння світла**. Його позначають літерою α (альфа). Кут, утворений відбитим променем світла OB і перпендикуляром OC, називають **кутом відбивання світла**. Його позначають літерою β (бета).

Вимірявши транспортиром кут падіння світла і кут відбивання світла, бачимо, що ці кути рівні між собою. Отже, ми встановили другий закон відбивання світла.

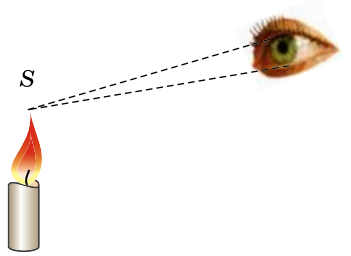
Кут відбивання променя світла дорівнює куту падіння променя світла.

Якщо поверхня дзеркала є площиною, таке дзеркало називають **плоским дзеркалом**.

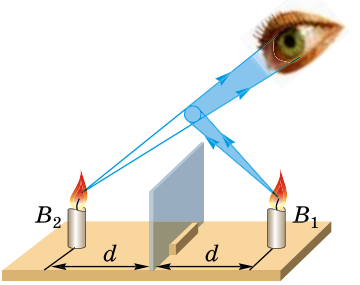
Трапляється, що людина помиляється, покладаючися тільки на свої зорові відчуття. Наприклад, коли ми дивимося у дзеркало, нам здається, що предмети, які насправді розташовані перед дзеркалом, знаходяться за ним. *Як це пояснити?*

Справа в особливостях нашого зору і сприйняття. Ми маємо природжену здатність бачити будь-який предмет або його частини тільки у прямолінійному напрямку, по якому світло від джерела світла, наприклад свічки, або освітленого предмета безпосередньо потрапляє в наші очі (мал. 121).

Дивлячися у плоске дзеркало, ми не дивимося на предмет, що знаходиться перед ним, проте світло від предмета все ж таки потрапляє в наші очі, відбившися від дзеркала. Тому в нашій свідомості виникає образ предмета. Оскільки відбите від дзеркала світло поширюється прямолінійно, нам здається, що ми бачимо предмет прямо перед нами, але не там, де він насправді знаходиться, а за дзеркалом. Малюнок 122 наочно це пояснює.



Мал. 121



Мал. 122

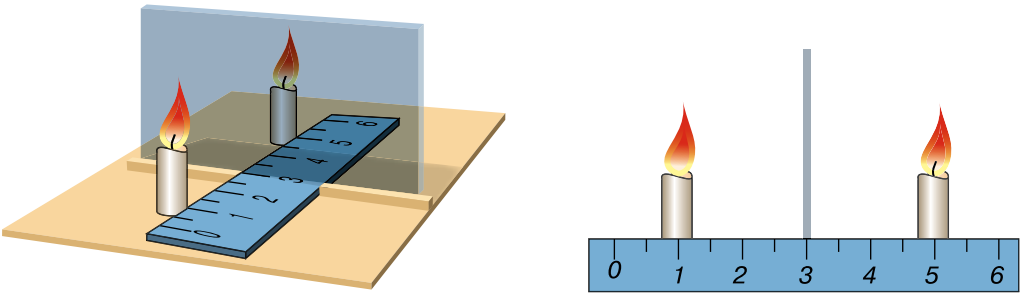
Тому кажуть, що у дзеркалі ми бачимо уявне пряме зображення предмета.

Дивлячися у дзеркало, ви бачите своє уявне зображення.

Зображення предмета у плоскому дзеркалі – уявне, пряме.

Розмістимо вертикально шматок плоского скла, яке виконуватиме роль дзеркала (мал. 123, *а*). Оскільки скло прозоре, ми бачимо предмети, що

знаходяться за ним. Візьмемо дві свічки, запалимо одну з них і поставимо цю свічку перед склом. Як у дзеркалі, ми побачимо у склі зображення свічки, що горить. Другу свічку розмістимо з другого боку скла так, щоб здавалося, що вона також горить, і, таким чином, сумістимо другу свічку із зображенням першої. Вимірюємо відстань між склом і кожною зі свічок (мал. 123, *б*). Виявляється, що ці відстані однакові.



ⓐ ⓑ

Мал. 123

Предмет і його зображення у плоскому дзеркалі завжди розміщені на однаковій відстані від дзеркала.

Досліди показують, що висота зображення свічки дорівнює висоті самої свічки.

Розміри зображення предмета у плоскому дзеркалі дорівнюють розмірам самого предмета.

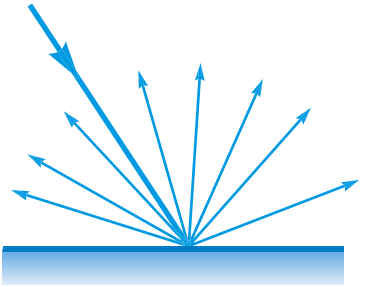
Зображення предмета у плоскому дзеркалі має ще одну особливість. Подивіться на зображення вашої лівої руки у плоскому дзеркалі. Пальці на зображенні розташовані так, ніби це є ваша права рука (мал. 124).

Мал. 124

Усі розглянуті особливості зображення предмета у плоскому дзеркалі дають змогу зробити висновок: **зображення предмета у плоскому дзеркалі симетричне самому предмету.**

Спостереження. Підійдіть до дзеркала і подивіться на своє зображення. Ви бачите, що зображення вашого тіла має ті самі розміри, що й ви самі. Відійдіть від дзеркала або підійдіть до нього ближче. Ваше зображення переміститься на ту саму відстань. Підніміть ліву руку. Ваше зображення підніме праву руку.

У плоскому дзеркалі ви бачите зображення предметів, що мало відрізняються від самих предметів. Це пояснюється тим, що дзеркало відбиває від 70 до 90 % падаючого на нього світла, а його поверхня плоска і гладка.



Мал. 125

Білий папір або сніг також відбивають значну частину світла – до 85 %, але, дивлячися на чистий аркуш паперу, ви не побачите зображень яких-небудь предметів, що знаходяться поряд, а тільки рівну білу поверхню. Отже, світло відбивається не тільки від дзеркальних поверхонь. Промені світла відбиваються від будь-якого предмета, який не пропускає світла. Якщо поверхня предмета шорстка (нерівна або матова), окремі світлові промені відбиваються від неї не в одному, а в різних напрямках (мал. 125). Таке світло називають **розсіяним**, а поверхню – **розсіювальною.**

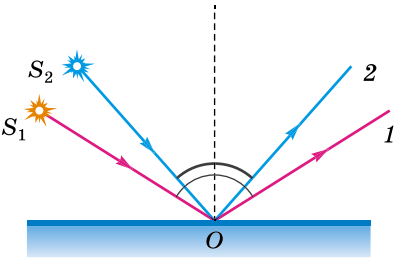
Завдяки розсіяному світлу ми бачимо предмети і в тих місцях, куди прямі сонячні промені не проникають, наприклад у кімнаті: сюди найчастіше потрапляє сонячне світло, розсіяне хмарами, будинками, деревами.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке відбивання світла?
2. Які закони відбивання світла ви знаєте? Сформулюйте їх.
3. Яке дзеркало називають плоским?
4. Які особливості має зображення предмета у плоскому дзеркалі?
5. Чому шорсткі поверхні розсіюють світло, а від дзеркальних воно майже повністю відбивається?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом



Мал. 126

1. Який з променів відбивається під більшим кутом, а який – під меншим (мал. 126)?

Відповідь: промінь *1* під більшим, *2* – під меншим.

2. За якої умови рух людини відносно дзеркала не змінить її положення відносно зображення?

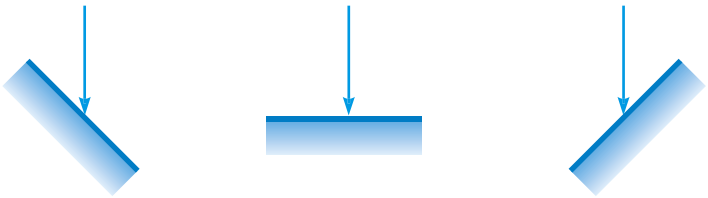
Відповідь: коли людина рухається паралельно поверхні дзеркала.

Рівень А

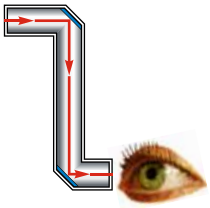
57. Кут падіння світла на дзеркало дорівнює 60°. Використовуючи транспортир, накресліть хід відбитого променя.

58. Користуючися малюнком 127, накресліть для кожного випадку хід відбитого променя.

59. Для спостереження за поверхнею моря з підводного човна, що знаходиться під водою на невеликій глибині, використовують оптичний прилад, який називають **перископом** (грец. *periskopeo* – «дивлюся навколо, оглядаю»). На малюнку 128 зображено схему дзеркального перископа. Поясніть його дію.



Мал. 127



Мал. 128

60. На малюнку 129 зображено покази годинника у плоскому дзеркалі. Котру годину показує годинник?

61. На автомобілях установлюють дзеркала (мал. 130). Навіщо це роблять?

Мал. 129

Мал. 130

62. В атракціоні «Кімната сміху» використовують дзеркала, які викривляють зображення предметів (мал. 131). Чому вони викривляють зображення предметів?

63. Чи можна побачити у дзеркалі свою потилицю? Як це зробити?

64. Прикладіть до дзеркала кінчик олівця. Чому він не збігається з кінцем зображення олівця? Яка відстань між кінчиком олівця і його зображенням?

65. Чому сніжинки виблискують на сонці?

Мал. 131

Рівень Б

66. Чи однаково відбивають світло шліфована і нешліфована поверхні сталевої пластини? Що досягається шліфуванням?

67. Яке відбивання світла від стін будинків або кіноекрана: дзеркальне чи розсіяне?

68. Чому осьові й поперечні розмітки на дорогах наносять білою фарбою?

69. Поясніть такі явища: а) за безхмарного неба темніє після заходу Сонця швидше, ніж коли є хмари; б) за хмарного неба в сонячний день дно глибокого колодязя видно краще, ніж за ясного неба.

Мал. 132

70. Побудуйте хід променя, що падає на дзеркало, і хід променя, відбитого від дзеркала (мал. 132).

71. Як потрібно поставити лампу біля дзеркала, щоб краще бачити в ньому своє обличчя?

72. Як відіб'ється промінь, який падає перпендикулярно до поверхні дзеркала?

73. Відбитий і падаючий промені утворюють прямий кут. Скільком градусам дорівнює кут падіння?

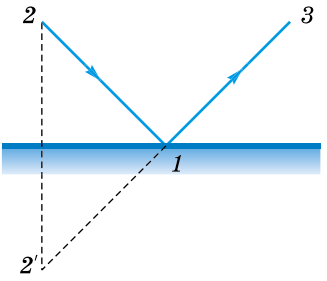
Лабораторна робота № 3

Дослідження відбивання світла за допомогою плоского дзеркала

Мета: перевірити виконання законів відбивання світла.

Прилади і матеріали: плоске дзеркало на підставці, транспортир, лінійка, аркуш паперу.

Хід роботи



Мал. 133

1. Поставте дзеркало так, щоб його площина була вертикальною (перпендикулярною до площини аркуша паперу). Позначте олівцем положення дзеркала та не зрушуйте його з місця під час досліду.

2. За допомогою олівця позначте точки *1* і *2* так, як показано на малюнку 133. Тепер у дзеркалі можна побачити зображення точки *2′*.

3. Позначте точку *3* так, щоб вона лежала на продовженні прямої, що проходить через точки *1* і *2′*. Тепер можна забрати дзеркало і сполучити точки *2* і *1* прямою – це й буде падаючий промінь світла. Точки *1* і *3* лежать на відбитому промені світла. З точки *1* проведіть перпендикуляр до площини дзеркала. Позначте на малюнку кути падіння та відбивання. Виміряйте їх за допомогою транспортира. Запишіть отримані результати в таблицю.

№ досліду	Кут падіння	Кут відбивання
1		
2		
3		

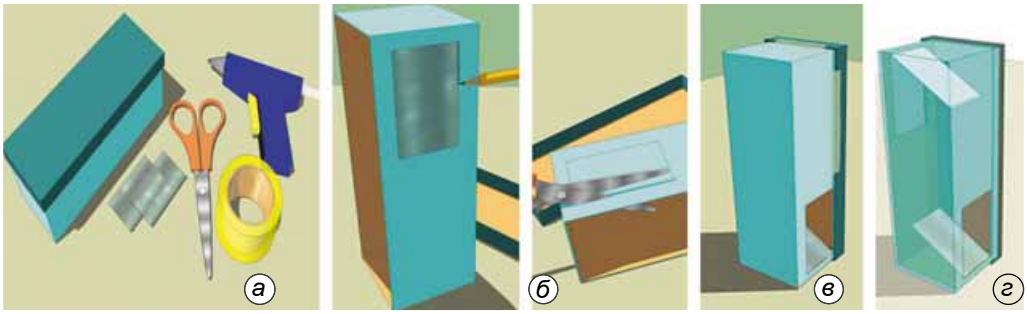
4. Повторіть експеримент ще двічі, змінюючи кут падіння променя світла на дзеркало. Отримані результати також запишіть у таблицю.

5. Зробіть висновок за виконаною роботою, а також дайте відповідь на такі запитання: 1) Чому зображення предмета у плоскому дзеркалі називають уявним?

2) Які особливості зображення, отриманого за допомогою плоского дзеркала?

Для допитливих

Користуючися малюнком 134, виготовте найпростіший перископ і перевірте його в дії.



Мал. 134

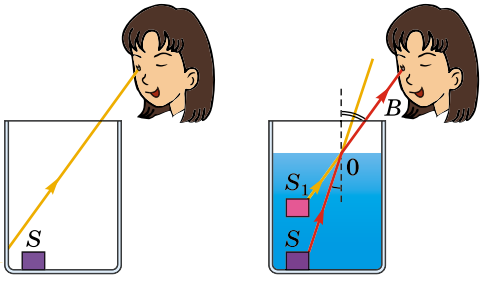
§ 12. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА НА МЕЖІ ПОДІЛУ ДВОХ СЕРЕДОВИЩ. ЗАКОН ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

Ще в давні часи люди стверджували, що палиця, опущена у воду, на межі повітря–вода є ніби зламаною. Вийнята з води, вона виявляється цілою. Так людина вперше зіткнулася з явищем заломлення світла.

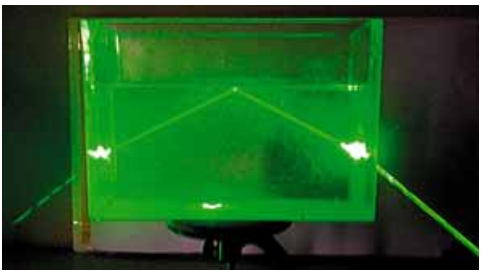
Першим це явище почав вивчати давньогрецький природодослідник **Клеомед** (I ст. н. е.). Він установив, що промінь світла, який поширюється під кутом з менш густого оптичного середовища в більш густе, наприклад з повітря у воду, змінює свій напрямок, тобто заломлюється. Пояснюючи свою думку, Клеомед говорив, що під певним кутом ми не будемо бачити предмет, що лежить на дні посудини (мал. 135), але якщо налити в посудину води, предмет буде видно.

Таким чином, на думку Клеомеда, завдяки заломленню променів можна бачити Сонце, що зайшло за горизонт.

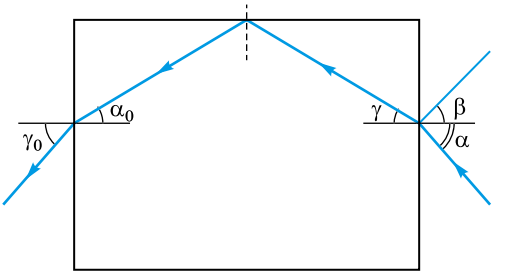
Інший давньогрецький учений **Клавдій Птоломей** (II ст. н. е.) дослідним шляхом визначив величину, що характеризує заломлення променів світла під час переходу їх з повітря у воду, з повітря у скло і з води у скло.



Мал. 135



а



б

Мал. 136

Дослід 1. Спрямуємо на тонкостінну посудину з підфарбованою водою, що має форму прямокутного паралелепіпеда, промінь світла. Ми бачимо, що на межі двох середовищ світловий промінь змінює свій напрямок: відбивається і заломлюється (мал. 136, *а*).

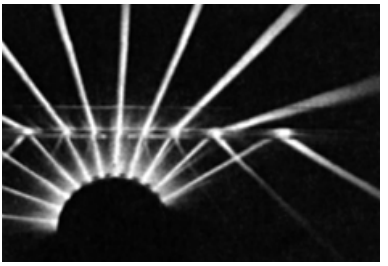
Зміну напрямку поширення світла при його переході через межу поділу двох оптично прозорих середовищ називають *заломленням світла*.

Виконаємо креслення (мал. 136, *б*). Дослід показує, що кут відбивання світла β дорівнює куту падіння світла α, а під час переходу променя з повітря у воду кут заломлення світла γ (гамма) менший за кут падіння світла α. Крім того, бачимо, що падаючий і заломлений промені світла лежать в одній площині з перпендикуляром, проведеним до поверхні поділу двох середовищ у точку падіння світла. Під час переходу променя світла з води в повітря кут заломлення світла γ_0 більший за кут падіння світла α_0.

Цей дослід показує, що під час переходу світлового променя з одного середовища в інше **падаючий і заломлений промені світла лежать в одній площині з перпендикуляром, проведеним до площини поділу двох середовищ у точку падіння променя світла; залежно від того, з якого середовища в яке переходить промінь світла, кут заломлення променя світла може бути більшим або меншим за кут падіння світла.**

Різні середовища по-різному заломлюють світлові промені. Наприклад, алмаз заломлює промені світла більше, ніж вода або скло.

Середовище, яке заломлює світло, може бути твердим, рідким і газуватим, але воно має бути прозорим, тобто таким, через яке промені світла проходять наскрізь.



Мал. 137

Світлові промені заломлюються, оскільки вони поширюються в різних середовищах (тілах) з неоднаковою швидкістю. У повітрі швидкість поширення світла більша, ніж у воді, у воді більша, ніж у склі.

Дослід 2. Помістимо в посудину з водою спеціальне джерело світла, від якого в різні боки поширюються промені світла (мал. 137). Промінь світла, що падає перпендикулярно до межі вода–повітря, не заломлюється.

Промені світла, що падають під різними кутами до поверхні води, заломлюються по-різному. Але є промені світла, які взагалі не переходять з води в повітря, а повністю відбиваються від її поверхні. Явище, коли промені світла не виходять із середовища і повністю відбиваються всередину, називають **повним внутрішнім відбиванням світла.**

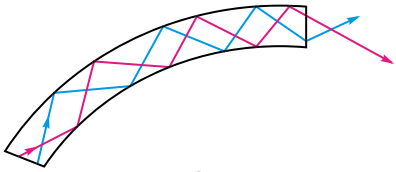
Явище повного внутрішнього відбивання світла використовують у спеціальних приладах – світловодах. Світловоди (мал. 138) широко використовують для передачі зображень предметів з будь-якого місця на будь-які відстані.

а

б

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Де може відбуватися заломлення світла?
2. Які закони заломлення світла ви знаєте?
3. Наведіть приклади заломлення світла.



в

Мал. 138

Лабораторна робота № 4

Дослідження заломлення світла

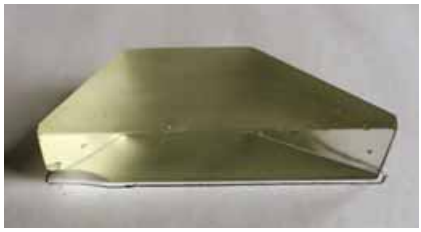
Мета роботи: вивчити явище заломлення світла, установити співвідношення кутів падіння та заломлення світла.

Прилади і матеріали: скляна призма з плоскопаралельними гранями, аркуш паперу, транспортир, олівець.

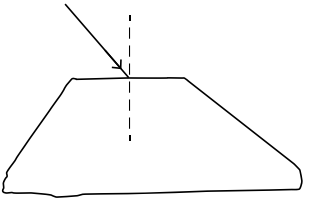
Хід роботи

1. На аркуші паперу розмістіть призму з плоскопаралельними гранями. Обведіть олівцем чи ручкою її контури (мал. 139).

2. На аркуші домалюйте промінь світла під довільним кутом, який падає на меншу грань призми. Побудуйте перпендикуляр з точки падіння променя світла до грані призми (мал. 140).



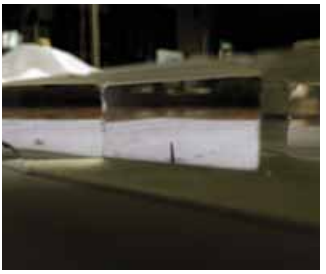
Мал. 139



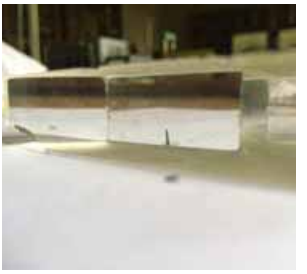
Мал. 140

3. Покладіть призму на обведене місце на папері. Дивлячись через грань призми на промінь світла, спробуйте побачити його зображення у призмі. Знайдіть таке положення поля зору, коли зображення променя світла у призмі напрямлене на вас (мал. 141).

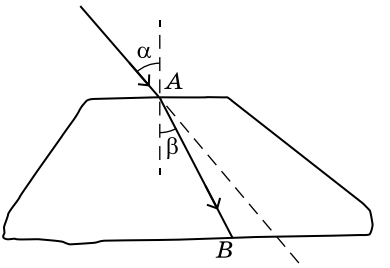
4. Не змінюючи положення зору, за допомогою олівця позначте продовження променя світла так, щоб це мало вигляд одного суцільного променя (мал. 142).



Мал. 141



Мал. 142



Мал. 143

5. Продовжіть падаючий промінь світла, як показано на малюнку 143, а також сполучіть точки A і B.

6. Позначте і виміряйте транспортиром кути падіння і заломлення для переходу повітря–скло. Запишіть дані в таблицю.

№ досліду	Кут падіння	Кут заломлення	Співвідношення кутів
1			
2			

7. Повторіть дослід на новому аркуші паперу, змінивши кут падіння променя світла на призму (зробіть його більшим чи меншим за попередній).

8. Зробіть висновки.

Для допитливих

Подивіться на олівець крізь прозору лінійку, змініть кут її нахилу до напрямку зору (мал. 144). Поясніть явище, яке ви спостерігаєте.

Мал. 144

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Який з кутів більший – кут падіння чи кут заломлення, якщо світло переходить: а) з води в повітря; б) з повітря у скло; в) з води у скло?

Відповідь: а) кут падіння; б) кут падіння; в) кут заломлення.

2. У склянку з водою вставили трубку для соку. Як пояснити явище, зображене на малюнку 145?

Відповідь: якщо дивитися на малюнок, то бачимо, що трубка для соку здається зламаною. Це пояснюється законами заломлення світла.

Мал. 145

Рівень А

74. Сидячи біля багаття, бачимо, що предмети, які знаходяться за ним, неначе коливаються. Чому?

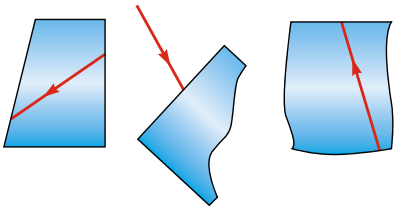
75. Чи може світло переходити з одного середовища в інше не заломлюючись?

76. Чому поділки шкали прозорих лінійок і косинців наносять на тому боці, який прикладають до вимірюваних предметів?

77. Чому здається, що предмети на дні річки або озера знаходяться на меншій глибині, ніж це є насправді?

78. У склянку, наполовину заповнену водою, помістили олівець (мал. 146). Поясніть явище, яке ви спостерігаєте.

Мал. 146



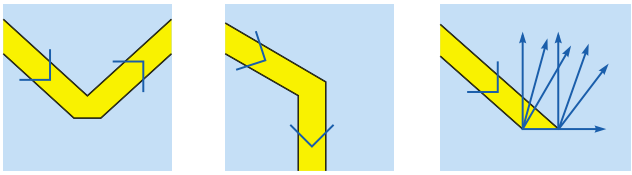
Мал. 147

Мал. 148

79. Перемалюйте в зошит малюнок 147. Для кожного випадку накресліть заломлений промінь, вважаючи, що всі тіла на малюнку скляні.

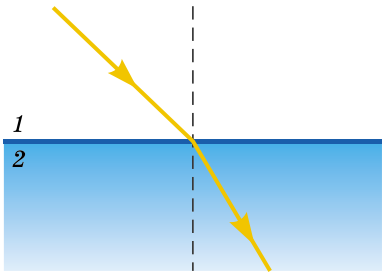
80. Що зображено на малюнку 148?

81. Поясніть явища, зображені на малюнку 149.



Мал. 149

Рівень Б



Мал. 150

82. Промінь світла переходить з повітря *1* у воду *2* (мал. 150). Порівняйте кут падіння і кут заломлення променя. Використовуючи відповідні креслярські інструменти, намалюйте хід відбитого променя.

83. Будь-яка водойма, дно якої при спокійній і прозорій воді добре видно з берега, завжди здається мілкішою, ніж у дійсності. Чому?

84. Чим пояснити, що всередині тріщин автомобільного скла ми спостерігаємо сріблясту поверхню?

85. Виконайте такий дослід: покладіть на середину дна чашки монету і станьте так, щоб монету вам не було видно. Попросіть, щоб у чашку хто-небудь налив води. Чи видно тепер монету? Поясніть це за допомогою малюнка.

86. Виконайте такий дослід: крапніть на аркуш білого паперу краплину олії. Чому утворена пляма здається світлішою від решти паперу, якщо дивитися через неї на світло? Чому у відбитому світлі пляма здається темнішою?

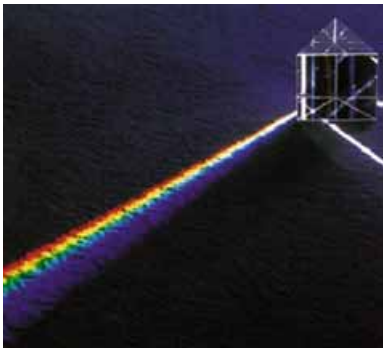
§ 13. РОЗКЛАДАННЯ БІЛОГО СВІТЛА НА КОЛЬОРИ. УТВОРЕННЯ КОЛЬОРІВ

Вам, звичайно, не раз доводилося бачити, як після дощу в сонячний день на небі виникає різноколірна смуга – веселка. А якщо ви спостережливі, то могли бачити такі веселкові кольори не тільки на небі. Подивіться, наприклад, на водяний фонтан, освітлений Сонцем, і ви побачите, як веселка, подібна до небесної, грає у краплях води.

Дослід 1. Візьміть лінзу і подивіться крізь неї на полум'я свічки. Ви побачите, що полум'я свічки оточене кольоровими кільцями.

Попереджаємо! У жодному разі не можна дивитися крізь лінзу на Сонце. Так ви можете зіпсувати собі зір.

Звідки ж з'являються на небі, у краплях води або лінзах такі різноколірні смуги?



Мал. 151

Те, що сонячне світло складається з кольорових променів, установив Ісаак Ньютон. Удосконалюючи телескопи, він звернув увагу, що зображення об'єктів, яке дає об'єктив, по краях забарвлене.

У 1754 р. Ньютон виконав геніально простий дослід. Він пропустив сонячне (біле) світло через маленький отвір у віконниці в затемнену кімнату, а на шляху променя помістив скляну призму (мал. 151). Призма заломила сонячні промені й спрямувала їх на стінку, на якій з'явилася багатоколірна смуга.

Цю багатоколірну смугу розкладеного білого світла Ньютон назвав **спектром** (лат. *spectrum* – «видимий»).

Він дійшов висновку, що:

1. Сонячне (біле) світло – це світло, яке складається із семи кольорів.

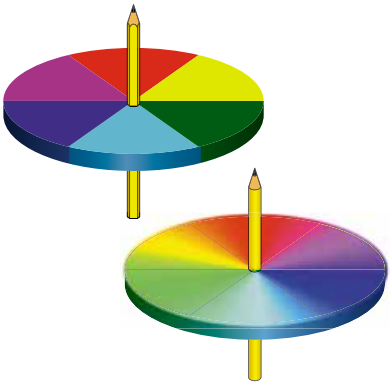
2. Розкладання сонячного світла тригранною призмою пояснюється тим, що окремі кольорові промені заломлюються в ній неоднаково. Найменше заломлюються промені червоного кольору, а найбільше – фіолетового.

3. Порядок кольорів у спектрі завжди є однаковим (мал. 152).

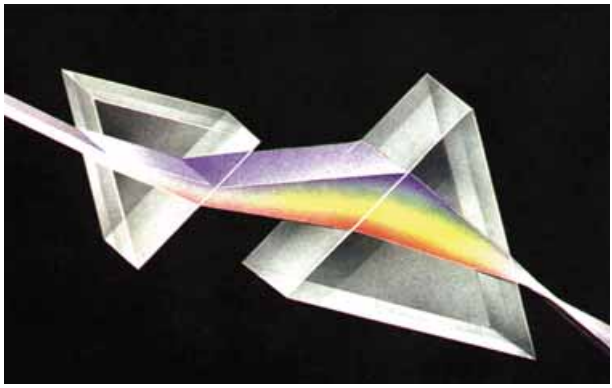
Мал. 152

Ньютон довів, що біле світло виникає в результаті складання 7 кольорів спектра. Переконаємося в цьому.

Дослід 2. Візьмемо диск Ньютона (круг, на якому нанесено кольори спектра, мал. 153) і обертатимемо його з певною швидкістю. У результаті досліду ми побачимо, що диск має білий колір. Якщо на шляху сонячних променів поставити дві призми, то на виході отримаємо біле світло (мал. 154).



Мал. 153



Мал. 154

У 1807 р. англійський учений **Томас Юнг** зробив ще одне важливе відкриття: **біле світло можна отримати шляхом змішування тільки трьох кольорів – червоного, зеленого і синього.**

Виявляється, решту кольорів спектра, а також їх відтінки можна отримати, змішуючи червоний, зелений і синій кольори. Але жодним змішуванням інших кольорів не можна отримати червоний, зелений і синій кольори.

Дослід 3. Направимо від трьох однакових джерел світла на екран світло червоного, синього і зеленого кольорів так, щоб вони накладалися один на одного (мал. 155, *а*). Там, де накладаються всі три кольори, ми побачимо білий колір (мал. 155, *б*).

а б

Мал. 155

Червоний, зелений і синій кольори – це основні, або первинні, кольори спектра.

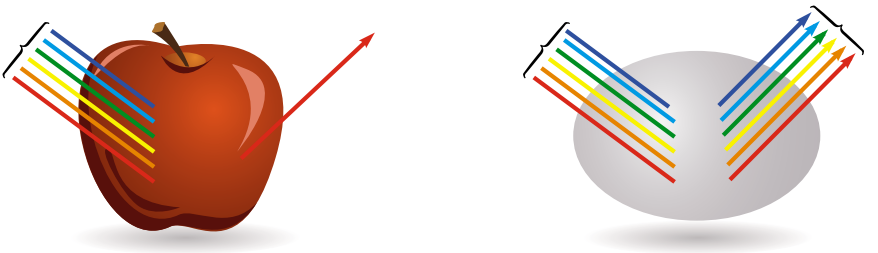
Чому предмети мають різні кольори?

Колір будь-якого непрозорого тіла залежить від світла, яке воно відбиває (мал. 156). Предмет має червоний колір, тому що він відбиває червоне світло і поглинає всі інші кольори. Інший предмет має синій колір, тому що він відбиває синє світло і поглинає всі інші кольори. Предмет білого кольору відбиває світло всіх кольорів, а предмет чорного кольору, навпаки, взагалі не відбиває світла, а повністю його поглинає.

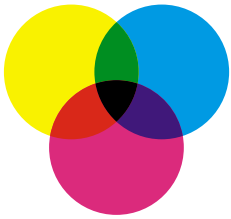
Тіло може поглинати і відбивати одночасно кілька кольорів.

Відбиті кольорові промені змішуються між собою, і колір тіла залежить від того, у якому співвідношенні вони від нього відбиваються. Завдяки цьому і виникає різноколірна гама фарб, яку ми спостерігаємо у природі.

Колір прозорих тіл залежить від того, які промені світла проходять крізь них. Наприклад, червоне скло пропускає тільки червоні промені, а зелене – тільки зелені, що і зумовлює їх колір. За допомогою таких скелець можна отримати однорідний за кольором пучок променів. Прозорі пластинки, які застосовують для отримання однорідного за кольором світлового пучка, називають **світлофільтрами**. Їх широко застосовують в оптичних приладах.



Мал. 156



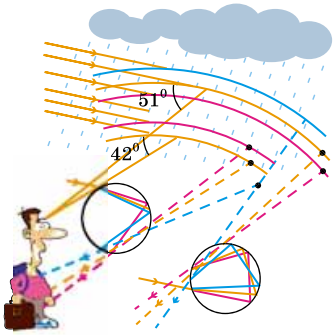
Мал. 157

Предмети можуть змінювати свій колір, якщо на них падає світло якого-небудь іншого кольору. Наприклад, червоне плаття матиме вигляд чорного у променях синього або зеленого кольору.

Трьома основними кольорами, які використовують для живопису, є червоний, жовтий і синій. Вони не збігаються з основними кольорами світла. Змішуючи ці кольори, можна отримати практично будь-який колір, окрім білого. Якщо змішати всі три основні кольори в рівних пропорціях, то отримаємо чорний колір (мал. 157).

Цікавим природним явищем є **веселка**. *Як же вона виникає?*

Веселка виникає в результаті заломлення і відбивання світла, наприклад у краплях дощу (мал. 158). У краплі води світло розкладається на кольори.



Мал. 158

Крапля води подібна до маленької призми, а її внутрішня поверхня виконує роль дзеркала, направляючи промені, що проникли у краплю, у зворотний бік – до спостерігача. При цьому найбільша кількість світла виходить під кутом 42° до початкового напрямку сонячних променів. Якраз це світло ми і бачимо.

Барви веселки розташовані в такому порядку: **фіолетовий, синій, блакитний, зелений, жовтий, оранжевий, червоний**. Далі йде смуга, у якій око не розрізняє кольорів, іноді вона навіть здається темнішою, ніж решта всієї частини неба, на тлі якого видно веселку. За цією смугою починається верхня веселка: у ній порядок кольорів зворотний – від червоного до фіолетового.

Але чому ви іноді бачите веселку яскравих кольорів, а іноді – неяскравих?

Виявляється, яскравість кольорів у веселці залежить від розмірів дощових крапель. Якщо вони великі (1–2 мм), фіолетова і зелена смуги дуже яскраві, червона також добре помітна, а блакитну видно слабо. Зі зменшенням розмірів крапель веселка розширюється і блідне, а коли краплі зовсім маленькі (0,05 мм), вона зникає.

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

З розповіді першого космонавта Юрія Гагаріна про перебування в космосі: «...Небо має чорний колір. Зірки набагато яскравіші, і їх краще видно на тлі цього чорного неба. Земля має дуже красивий блакитний ореол. Цей ореол добре видно, спостерігаючи горизонт – плавний перехід від ніжно-блакитного кольору через блакитний, синій, фіолетовий і зовсім чорний колір неба. Дуже красивий перехід! Коли виходиш з тіні, бачиш, як Сонце просвічує земну атмосферу. І тут цей ореол трохи іншого відтінку. Біля самої земної поверхні колір яскраво-оранжевий, далі він переходить у всі барви веселки, до блакитного, синього, фіолетового і чорного кольору неба.

Входження в тінь Землі відбувається дуже швидко, відразу настає темрява і нічого не видно...».

Перший космонавт України Леонід Каденюк так описав своє враження від вигляду Землі з космосу: «...Нема таких слів, за допомогою яких можна описати побачене. Надзвичайно велика кількість найрізноманітніших кольорів, але основний відтінок – голубий».

Своє враження від космосу легендарний українець описав у книжці «Місія – Космос».

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яке випромінювання називають видимим?
2. Хто довів, що сонячне світло складається із семи кольорів?
3. Які кольори називають основними?
4. Як виникає веселка?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Після дощу в сонячну погоду іноді можна спостерігати веселку. Чому саме після дощу? Чому в сонячну погоду?

Відповідь: у повітрі містяться дощові краплини, які є своєрідними призмами і в яких заломлюються сонячні промені.

2. Чому для заборонних сигналів на транспорті (у світлофорах, семафорах, стоп-сигналах тощо) використовують саме червоний, а не який-небудь інший колір?

Відповідь: червоні промені менше розсіюються в повітрі й добре видимі за будь-якої погоди.

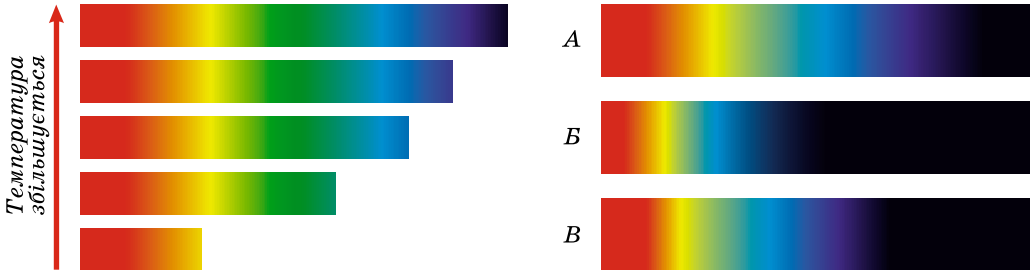
Рівень А

87. Відомо: що вища температура нагрітого тіла, то ширший спектр (мал. 159). Визначте, яке з тіл *А*, *Б*, *В* має температуру 800 °С, 1000 °С, 1400 °С.

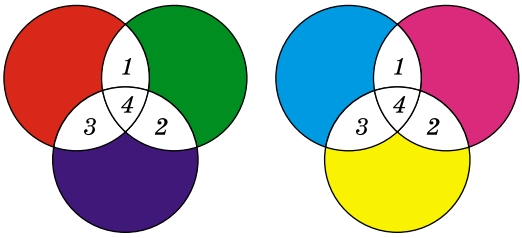
88. На екрані зображено два варіанти накладання кольорів (мал. 160). Який колір мають ділянки *1*, *2*, *3*, *4*?

89. Поясніть результати досліду (мал. 161).

90. За малюнком 162 визначте забарвлення цуценят.



Мал. 159



Мал. 160

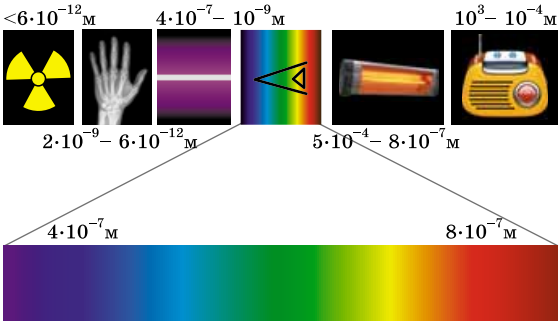
Мал. 161

Мал. 162

91. На малюнку 163 ми бачимо предмети. Чи зміниться їх колір, якщо розглядати їх через зелений фільтр? Якщо так, то як?

92. Поясніть, про що йдеться на малюнку 164.

Мал. 163



Мал. 164

93. Чому грановані скляні підвіски люстри переливаються різними кольорами?

Рівень Б

94. Автомобілі можуть мати додаткові фари жовтого світла, які використовуються під час поїздки в тумані. Чому?

95. Для спостерігача, який опинився б на Місяці, небо виявилося б не блакитного кольору, а зовсім чорним. Чому?

96. Найточніші експерименти, які проводили вчені, показали, що людина не байдужа до того, які кольори її оточують: червоний колір має збуджуючий вплив, викликає відчуття тепла; оранжевий – зігріваючий і стимулюючий, сприяє розвитку позитивних емоцій; жовтий – сонячний колір хорошого настрою і веселощів; зелений – заспокоює, створює відчуття свіжості; блакитний – заспокоює, розслабляє м'язи; фіолетовий – добре впливає на серцево-судинну систему й органи дихання; чорний – пригнічує, проте дає приємний ефект при контрастних сполученнях. Враховуючи це, укажіть, якими кольорами краще фарбувати класні кімнати, вітальні, їдальні, спальні кімнати.

97. У правилах безпеки руху зазначено, що дорожні знаки слід наносити білою фарбою на синьому тлі. Чому обрали саме це поєднання кольорів?

98. Чому предмети здаються синіми, якщо їх розглядати через сині окуляри?

99. Малюнок виконали зеленою фарбою на білому папері. Якого кольору він буде здаватися, якщо подивитися на нього через жовте скло?

100. Якого кольору буде здаватися синя хустинка у фотолабораторії, якщо її освітити червоним світлом?

101. Чим можна пояснити, що трава та листя дерев у червоних променях сонця під час його заходу поступово втрачають своє яскраво-зелене забарвлення і набувають бурого відтінку?

102. Поясніть, чому в кімнаті, освітленій зеленим світлом, предмети червоного кольору здаються чорними, а в кімнаті, освітленій червоним світлом, усі зелені предмети здаються чорними.

103. Чому художники малюють картини фарбами переважно при денному світлі?

104. Чому при вечірньому освітленні не можна точно визначити забарвлення, яке матиме тканина вдень?

105. Чим пояснити, що деякі люди неправильно сприймають кольори предметів?

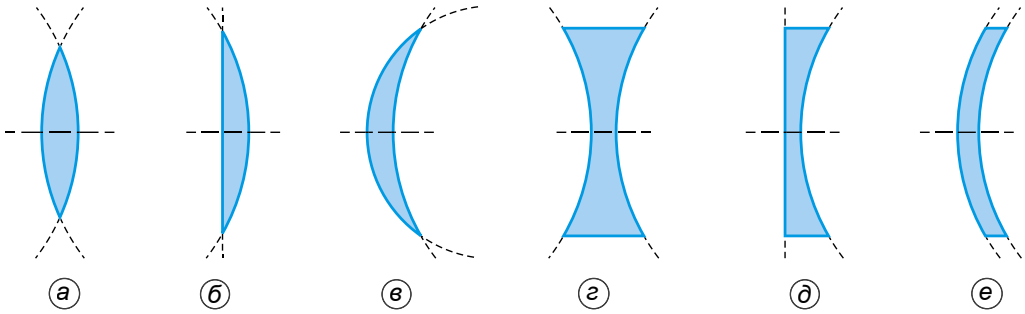
§ 14. ЛІНЗИ. ОПТИЧНА СИЛА ТА ФОКУСНА ВІДСТАНЬ ЛІНЗИ. ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ. ОТРИМАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНЗИ

Межа розділу двох, прозорих для світла, тіл може бути викривленою. Якщо прозоре тіло обмежити викривленими поверхнями, отримаємо лінзу (нім. *linse* – «сочевиця»).

Лінза – це прозоре тіло, обмежене двома опуклими або вгнутими прозорими поверхнями, які заломлюють промені світла.

Одна з поверхонь лінз може бути плоскою. Лінзи виготовляють з якої-небудь прозорої для світла речовини: скла, кварцу, різних пластмас, кам'яної солі, але найчастіше – із спеціальних сортів скла.

Найбільшого поширення набули лінзи, обмежені сферичними поверхнями. Залежно від взаємного розміщення сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, розрізняють 6 типів лінз: **двоопукла**, **плоско-опукла**, **увігнуто-опукла** (мал. 165, *а*, *б*, *в*); **двоввігнута**, **плоско-ввігнута**, **опукло-ввігнута** (мал. 165, *г*, *д*, *е*).

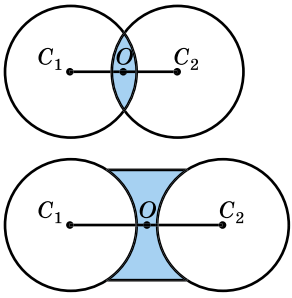


Мал. 165

Будь-яка лінза має характерні точки і лінії. З'ясуємо, які саме.

1. Пряму, що проходить через центри C_1 і C_2 сферичних поверхонь, які обмежують лінзу, називають **головною оптичною віссю** (мал. 166).

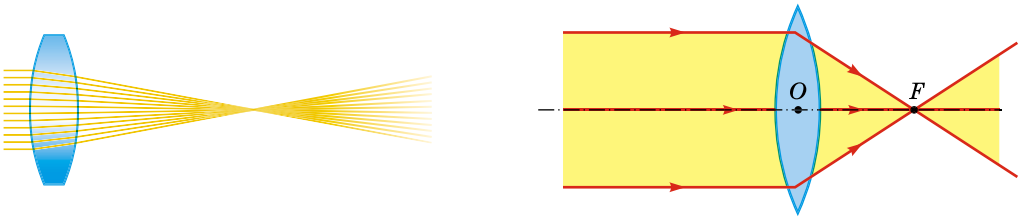
2. Точку O, що лежить на головній оптичній осі в центрі лінзи, називають **оптичним центром лінзи** (мал. 166).



Мал. 166

Дослід 1. Спрямуємо на лінзу пучок променів, паралельних її головній оптичній осі. Проходячи через лінзу, світлові промені заломлюються і перетинаються в одній точці, яка лежить на головній оптичній осі лінзи (мал. 167).

Цю точку називають **головним фокусом лінзи *F*.**



Мал. 167

3. Головний фокус лінзи *F* – точка, у якій сходяться всі, паралельні головній оптичній осі, промені після їх заломлення в лінзі.

4. Фокусна відстань лінзи *F* – відстань від оптичного центра лінзи *O* до головного фокуса *F*.

Кожна лінза має два головних фокуси.

Будь-яка тонка лінза характеризується двома основними параметрами – фокусною відстанню та **оптичною силою.** Оптичну силу лінзи позначають великою літерою *D* та визначають за формулою:

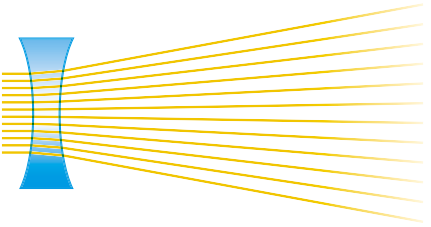
$$D = \frac{1}{F}.$$

Одиницею оптичної сили є **одна діоптрія (1 дптр),** 1 дптр $= \frac{1}{\text{м}}$.

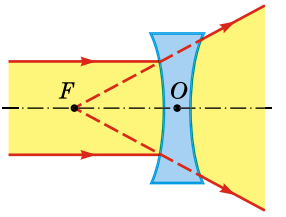
Як видно з досліду, лінза перетворює пучок паралельних променів на той, що сходиться, тобто збирає його в одну точку. Таку лінзу називають **збиральною лінзою.**

Збиральна лінза – це лінза, яка світлові промені, що падають на неї паралельно її головній оптичній осі, після заломлення збирає на цій осі в одну точку.

Дослід 2. Візьмемо лінзу іншого типу і спрямуємо на неї паралельний головній оптичній осі пучок світлових променів. Промені, заломившись на межі повітря–скло, виходять з лінзи пучком, що розходиться або розсіюється (мал. 168).



Мал. 168



Мал. 169

Таку лінзу називають **розсіювальною лінзою.**

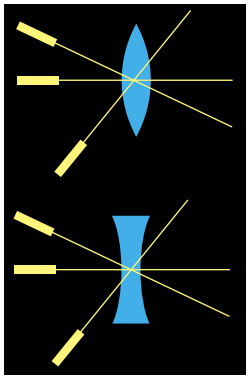
Розсіювальна лінза – це лінза, яка світлові промені, що падають на неї паралельно її головній оптичній осі, після заломлення відхиляє від цієї осі.

Якщо пучок променів, що виходить з розсіювальної лінзи, продовжити у протилежному напрямку, то продовження променів перетнуться в точці *F*, яка лежить на оптичній осі з того боку, з якого світло падає на лінзу. Цю точку *F* називають **уявним головним фокусом** розсіювальної лінзи (мал. 169). Отже, розсіювальна лінза має уявний головний фокус.

Дослід 3. Пропустимо світлові промені тільки через оптичні центри лінз. У результаті досліду переконуємося (мал. 170), що **світлові промені, які проходять через оптичний центр лінзи, не заломлюються, тобто не змінюють свого напрямку.**

За допомогою лінз можна не тільки збирати або розсіювати світлові промені, але й будувати зображення предметів. Якраз завдяки цій властивості лінзи широко використовують у практичних цілях.

Яким же чином будуються зображення предметів за допомогою лінз?



Мал. 170

Зображення предмета – це відтворення виду, форми і кольору предмета світловими променями, що пройшли через оптичну систему лінз, які мають одну загальну оптичну вісь.

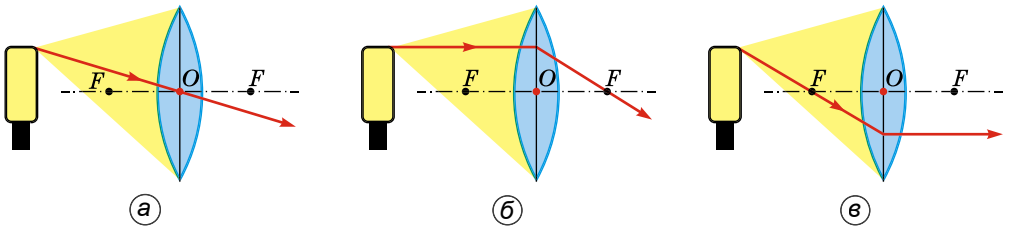
Якщо зображення предмета утворено перетином самих променів, то його називають **дійсним**, якщо їхнім продовженням – **уявним**.

Визначити хід променів, відбитих усіма точками поверхні тіла, неможливо. Тому для побудови зображення використовуватимемо такі промені, хід яких відомий:

1. Промінь, що проходить через оптичний центр лінзи, не заломлюється (мал. 171, *а*).

2. Промінь, паралельний головній оптичній осі лінзи, після заломлення в лінзі проходить через головний фокус лінзи (мал. 171, *б*).

3. Промінь, що проходить через головний фокус лінзи, після заломлення в ній, проходить паралельно головній оптичній осі (мал. 171, *в*).

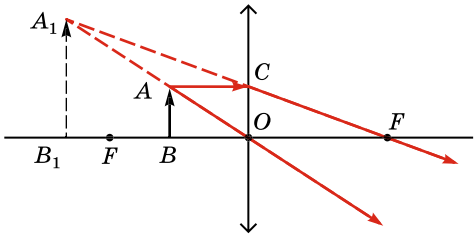


Мал. 171

Розглянемо випадки, за яких виходить те або інше зображення, та особливості цих зображень.

1. *Предмет AB розміщений між лінзою і її фокусом F.*

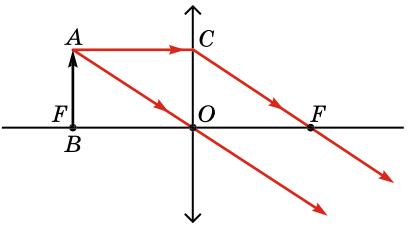
Побудуємо зображення точки *A*, використавши для цього згадані вище промені. Промінь *AC* (мал. 172), паралельний головній осі лінзи, заломившися в лінзі, пройде через головний фокус, а промінь *AO* не змінить свого напрямку. Як видно з малюнка, ці промені розходяться. Щоб побудувати зображення точки *A*, потрібно продовжити промені у протилежному напрямку до перетину, це буде точка A_1. Це зображення точки є уявним. Таку саму побудову ходу променів можна виконати для всіх точок предмета, які знаходяться між точками *A* і *B*. Зобра-



Мал. 172

ження цих проміжних точок лежатимуть між A_1 і B_1. Таким чином, A_1B_1 – зображення предмета AB.

Якщо предмет розміщують між лінзою та її фокусом, то отримують збільшене, пряме, уявне його зображення, розміщене далі від лінзи, ніж сам предмет.



Мал. 173

Таке зображення отримують, коли користуються лупою – приладом для розглядання дрібних предметів (наприклад, читання дрібного тексту).

2. *Предмет розміщений у головному фокусі лінзи F.*

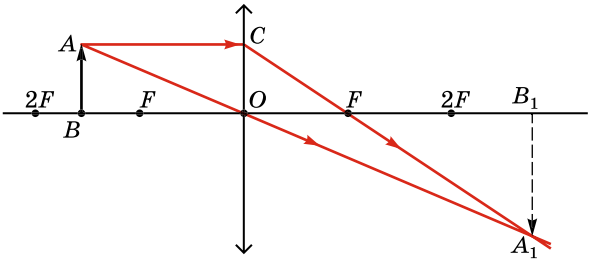
Для побудови зображення предмета AB знову скористаємося променями AC і AO (мал. 173). Після проходження променів крізь лінзу ми побачимо, що вони паралельні між собою. Отже, зображення предмета AB ми не отримаємо.

Якщо в головному фокусі розмістити джерело світла, то ми перетворимо пучок променів, що розходяться, на пучок паралельних променів, який добре освітлює віддалені предмети.

Якщо предмет розміщений у головному фокусі лінзи *F*, зображення предмета отримати не можна.

3. *Предмет розміщений між головним фокусом лінзи F і подвійним фокусом лінзи 2F.*

Під час побудови зображення (мал. 174) ми бачимо, що промені AC і AO після проходження лінзи перетинаються в точці A_1. У цій точці утворюється дійсне зображення точки A. Зображення A_1B_1 предмета AB також буде дійсним.



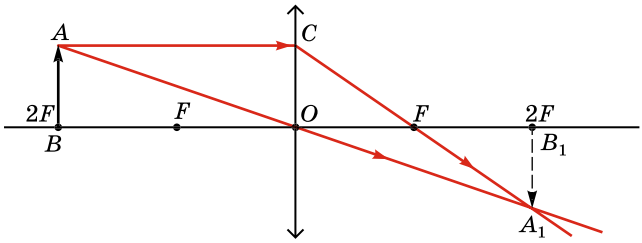
Мал. 174

Якщо предмет розміщений між фокусом *F* і подвійним фокусом 2*F* лінзи, то утворюється збільшене, перевернуте і дійсне зображення предмета; воно розміщене з протилежного відносно предмета боку лінзи на відстані, що більша за подвійну фокусну відстань.

Таке зображення використовують у проекційному апараті, кіноапараті. Щоб зображення на екрані було прямим, діапозитиви або кінострічку встановлюють в апарат у перевернутому вигляді.

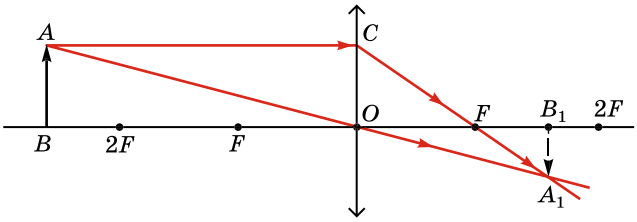
4. *Предмет розміщений у подвійному фокусі лінзи 2F.*

У цьому випадку лінза дає (мал. 175) **перевернуте, дійсне зображення предмета такого самого розміру, що й він сам. Це зображення розміщене в її подвійному фокусі 2*F* з протилежного відносно предмета боку лінзи.**



Мал. 175

5. *Якщо предмет розміщений за подвійним фокусом лінзи 2F* (мал. 176), лінза дає **зменшене, перевернуте і дійсне зображення предмета, яке розміщено між її головним фокусом *F* і подвійним фокусом 2*F* з протилежного відносно предмета боку лінзи.**



Мал. 176

Таке зображення використовують у фотоапараті.

Отже, розміри зображення предмета і місце, де воно утворюється, залежать від взаємного розміщення предмета і лінзи.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають лінзою? Які бувають лінзи?
2. Які головні точки і лінії має будь-яка лінза?
3. Які зображення предметів можна отримати за допомогою лінзи?
4. Від чого залежать розміри зображення предмета?

Лабораторна робота № 5

Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи

Мета роботи: навчитися отримувати зменшені та збільшені зображення предметів за допомогою збиральної лінзи, через геометричні побудови визначити її фокусну відстань, визначити оптичну силу лінзи, уміти користуватися формулою тонкої лінзи.

Прилади і матеріали: збиральна лінза на підставці; лампа для кишенькового ліхтарика на підставці із джерелом живлення або свічка; білий екран; вимірювальна лінійка.

Хід роботи

1. Одержте на екрані чітке зменшене зображення джерела світла. Виміряйте в метрах відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана.

Побудовою з дотриманням масштабу знайдіть положення головних фокусів лінзи. Визначте фокусну відстань лінзи F та оптичну силу лінзи D за формулою:

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

Визначаючи оптичну силу лінзи, фокусну (і всі інші) відстань слід брати в метрах, лише тоді оптичну силу можна визначити в діоптріях.

2. Одержте на екрані збільшене зображення джерела світла і виконайте всі дії, що описано в пункті 1.

3. Установіть, де потрібно розмістити джерело світла, щоб на екрані було його зображення такого самого розміру, як і джерело. Перевірте свій висновок на досліді.

Для допитливих

Візьміть окуляри для короткозорих і далекозорих людей. Побудуйте зображення предметів, які дають ці окуляри.

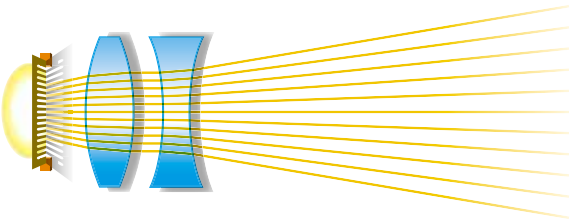
ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Чому не рекомендується поливати рослини вдень, коли вони освітлені сонячними променями, особливо ті, на листі яких залишаються крапельки води?

Відповідь: тому що крапельки відіграють роль лінз, які фокусують сонячні промені, і рослини отримують опіки.

2. На малюнку 177 показано хід променів у лінзах. Які це лінзи?



Мал. 177

Відповідь: (зліва-направо) джерело світла, збиральна лінза, розсіювальна лінза.

Рівень А

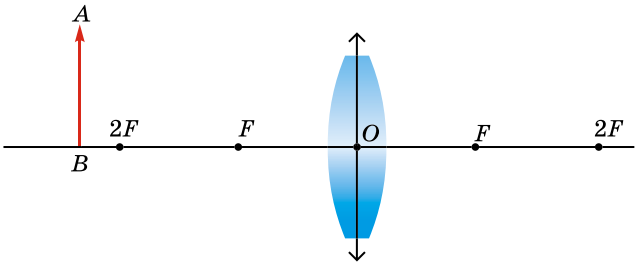
106. Які бувають лінзи? Назвіть їх.

107. Як, використовуючи сонячні промені, визначити фокусну відстань збиральної лінзи?

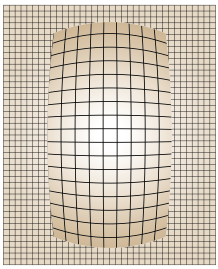
108. Наповніть прозору пляшку водою, поставте її так, щоб вона освітлювалася сонячними променями або світлом від електролампи, і помістіть за нею аркуш паперу. Як впливає вода у пляшці на поширення світла?

109. Чи можна розмістити дві збиральні лінзи так, щоб паралельні промені, падаючи на одну лінзу, з другої виходили також паралельними?

110. Побудуйте зображення предмета AB у збиральній лінзі (мал. 178).



Мал. 178



Мал. 179

111. Яку лінзу поклали на аркуш паперу в клітинку (мал. 179)?

112. Як збиральні лінзи змінюють хід світлових променів?

113. Як на дотик відрізнити збиральну лінзу від розсіювальної?

114. Є дві лінзи – одна збиральна, друга розсіювальна. Як, подивившись через ці лінзи на предмет, відрізнити одну від другої?

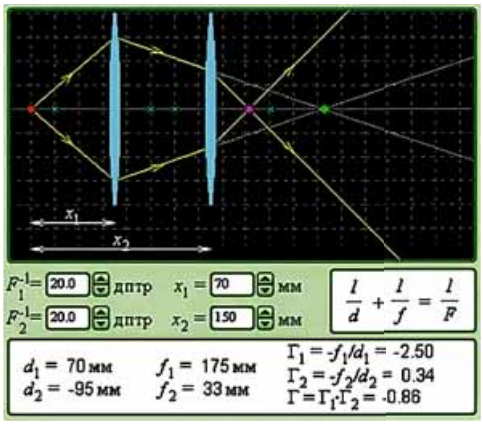
Рівень Б

115. Поясніть результати віртуального (комп'ютерного) досліду, зображеного на малюнку 180.

116. Де потрібно розмістити предмет перед збиральною лінзою, щоб отримати його дійсне і збільшене зображення?

117. Де потрібно розмістити предмет перед збиральною лінзою, щоб отримати його дійсне і зменшене зображення?

118. Чи можна побачити зображення предмета, якщо його помістити у фокусі збиральної лінзи? Чому?



Мал. 180

119. Як зміниться зображення предмета, якщо, не змінюючи положення лінзи, поміняти місцями екран і предмет?

120. Чи можна за допомогою льоду запалити сірник?

§ 15. НАЙПРОСТІШІ ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ

Знання законів відбивання і заломлення світла у дзеркалах і лінзах дали змогу створити ряд оптичних приладів, що мають важливе значення для сучасної науки і техніки. Їх використовують фахівці різних галузей. Це мікроскоп біолога і фотоапарат журналіста, кінокамера оператора і телескоп астронома, перископ підводника тощо. Окрім того, оптичним приладом є окуляри мільйонів людей різного віку і спеціальностей.

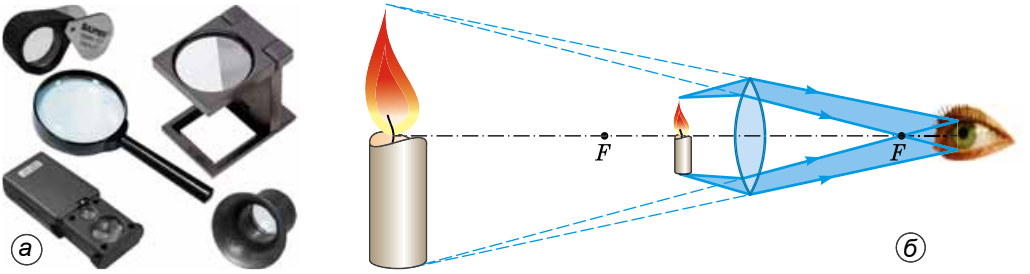
Найпростішим оптичним приладом є лупа.

Лупа (франц. *loupe* – «наріст») – оптичний прилад, що є збиральною лінзою, застосовується для розглядання дрібних деталей, погано помітних неозброєним оком.

Загальний вид луп різного вигляду представлено на малюнку 181, *а*.

Щоб побачити зображення предмета збільшеним, лупу потрібно розмістити так, щоб даний предмет був між лупою і її фокусом (мал. 181, *б*).

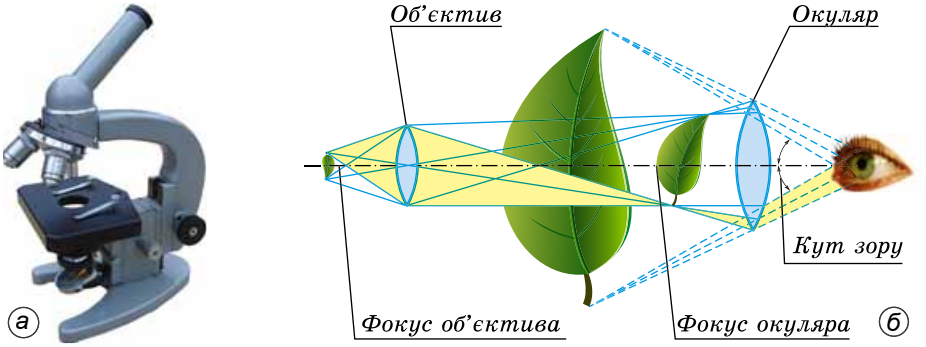
Промені, що падають на лупу від крайніх точок предмета, заломлюються в лінзі і сходяться.



Мал. 181

Яким же чином усе це бачить наше око?

Виявляється, наше око не помічає заломлення променів. Промені, що йдуть від предмета крізь лінзу, сприймаються оком як прямолінійні. Нам здається, що промені, які йдуть від лупи до ока, продовжуються після лупи, не заломлюючись. Завдяки цьому ми бачимо предмет збільшеним порівняно з його дійсними розмірами.



Мал. 182

Лупа дає збільшення в 10–40 разів.

Значне збільшення зображення предметів можна отримати за допомогою двох лінз, розміщених у металевій трубі на певній відстані одна від одної. Такий прилад називають мікроскопом.

Мікроскоп (грец. *mikro* – «малий», *skopeo* – «розглядаю») – оптичний прилад для розглядання дрібних предметів та їх деталей (мал. 182, *а*).

Хід променів у мікроскопі показано на малюнку 182, *б*. Лінзу, яка розміщена з боку ока, називають окуляром (лат. *oculus* – «око»), а лінзу, розміщену з боку даного предмета, називають об'єктивом (лат. *objectivus* – «предметний»).

Перше збільшення зображення предмета дає об'єктив. Предмет у мікроскопі розміщується трохи далі від фокуса об'єктива. У результаті цього виходить збільшене і перевернуте зображення предмета. Це зображення збільшується ще раз лінзою-окуляром: воно ніби слугує для окуляра предметом. Окуляр, подібно до лупи, розміщують на відстані (меншій від фокусної) від проміжного зображення. У результаті ми отримуємо нове, значно збільшене зображення.

Якщо, наприклад, об'єктив мікроскопа дає зображення предмета, збільшене у 20 разів, а окуляр збільшує це зображення в 15 разів, то загальне збільшення, яке дає мікроскоп, складатиме вже $20 \cdot 15 = 300$ разів.

Мал. 183

Сучасні електронні мікроскопи дають збільшення в десятки тисяч разів. Наприклад, так виглядають під мікроскопом бактерії, збільшені у 25 000 разів (мал. 183).

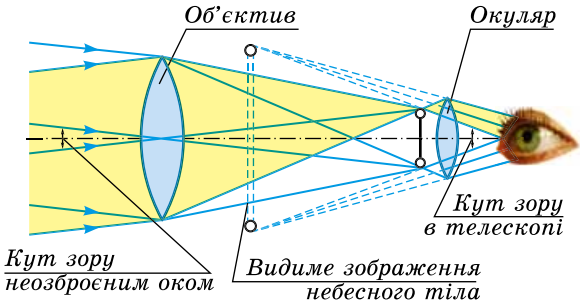
Подивіться ще раз на малюнок, на якому зображено схему мікроскопа (мал. 182, *б*). Об'єктив мікроскопа – лінза – має меншу фокусну відстань, ніж окуляр цього прилада. *А що відбудеться, якщо ми візьмемо об'єктив, який має більшу фокусну відстань, ніж окуляр?*

У цьому випадку ми отримаємо новий прилад, який називають **телескопом**, або **рефрактором** (лат. *refringo* – «заломлюю»). Такий телескоп створив ще в 1611 р. німецький астроном Йоганн Кеплер. А взагалі перший телескоп на основі зорової труби побудував у 1609 р. Галілео Галілей.

Телескоп (грец. *tele* – «далеко», *skopeo* – «дивлюся») – оптичний прилад для астрономічних досліджень космічних об'єктів (мал. 184).

Проходження у телескопі променів від небесного тіла показано на малюнку 185.

Мал. 184



Мал. 185

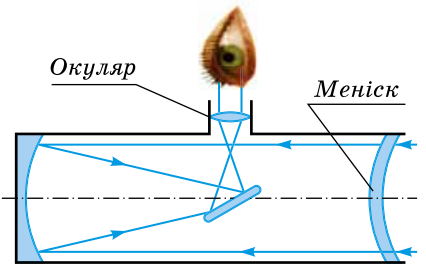
Як випливає з малюнка, зображення небесного тіла в телескопі ми бачимо під більшим кутом зору, ніж неозброєним оком. Окуляр телескопа, як і окуляр мікроскопа, діє, як звичайна лупа.

Слід зазначити, що, розглядаючи за допомогою телескопа віддалені предмети на Землі, ми бачимо їх перевернутими. Для спостереження ж небесних тіл ця обставина не має значення.

Найбільший телескоп-рефрактор, установлений у Єрській обсерваторії (США), має об'єктив діаметром 102 см.

Інший тип – це телескопи-рефлектори (лат. *reflecto* – «відображаю»). У таких телескопах, окрім заломлення світлових променів, використовують іншу їх властивість – здатність відбиватися від дзеркальних поверхонь.

Зображення небесного тіла відбивається за допомогою маленького плоского люстерка і розглядається за допомогою окуляра (мал. 186), який збільшує відбите зображення.



Мал. 186

Перший рефлектор з діаметром дзеркала 2,5 см і фокусною відстанню 16,5 см побудував у 1668 р. Ісаак Ньютон. На сьогодні найбільшим у світі є дзеркальний телескоп HESS II у Намібії, площа якого сягає 600 м^2. Пристрій призначено для вивчення походження космічних променів.

Мал. 187

1. Система лінз (об'єктив). 2. Дзеркало. 3. Матовий екран. 4. Призма. 5. Відеошукач. 6. Затворка. 7. Світлоприймач (плівка)

Фотоапарат – це оптичний прилад, за допомогою якого на цифровому пристрої (англ. *digital device* – технічний пристрій або пристосування, призначене для отримання та обробки інформації в цифровій формі, використовуючи цифрові технології), фотоплівці, фотопластині, фотопапері отримують зображення предмета.

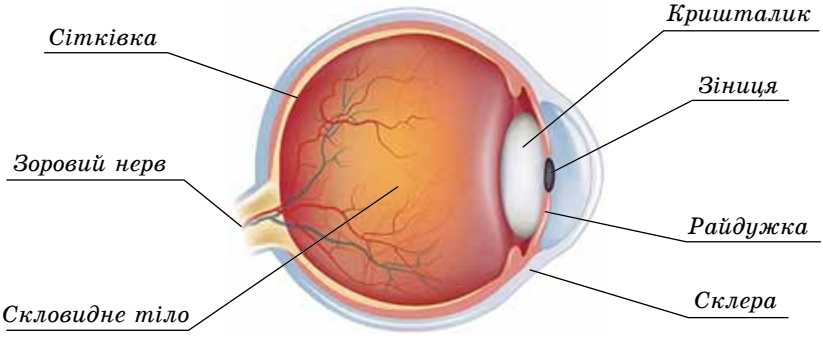
На сьогодні існує багато різних типів фотоапаратів (мал. 187, *а*). Вони відрізняються формою і розмірами, але їх будова й основні частини однакові. Хід променів у фотоапараті зображено на малюнку 187, *б*.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яке призначення лупи?
2. Де потрібно розміщувати предмет, якщо його розглядати за допомогою лупи?
3. Яке збільшення зображення предмета може давати лупа?
4. Для чого призначено мікроскоп?
5. З яких основних частин складається мікроскоп?
6. Яке збільшення зображення предметів може давати мікроскоп?
7. Чим відрізняється телескоп від мікроскопа?
8. Для чого використовують телескопи?
9. Які типи телескопів ви знаєте?
10. Назвіть основні типи фотоапаратів.

§ 16. ОКО ЯК ОПТИЧНИЙ ПРИЛАД. ЗІР І БАЧЕННЯ. ВАДИ ЗОРУ ТА ЇХ КОРЕКЦІЯ

Варто тільки розплющити очі, і перед нами з'являється дивовижний світ. Око людини має складну і тонку будову, його можна розглядати як фізичний прилад, порівнюючи з фотоапаратом. Око має майже кулясту форму (мал. 188) і захищене щільною оболонкою – **склерою**. Передню частину склери називають **роговою оболонкою**, або **рогівкою**. Рогівка прозора і має форму опукло-ввігнутої лінзи завтовшки близько 1 мм. За рогівкою розміщена **райдужка**, що має в різних людей різне забарвлення. Між рогівкою і райдужкою знаходиться **водяниста рідина**.



Мал. 188

У райдужці є отвір – **зіниця**, діаметр якої залежно від освітлення може змінюватися від 2 до 8 мм. За зіницею знаходиться **кришталик**, що нагадує форму двоопуклої лінзи. Кришталик оточений м'язами, якими він прикріплений до склери. Решту частини ока заповнює прозоре **скловидне тіло.**

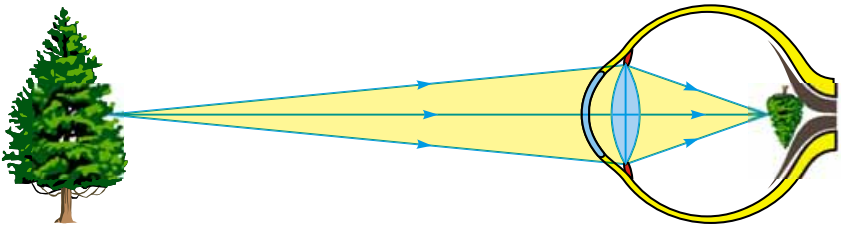
Рогівка, кришталик і скловидне тіло спільно виконують роль збиральної двоопуклої лінзи.

Задня частина склери покрита **сітківкою**, що складається з елементів, які сприймають світлові промені. У результаті подразнення сітківки виникають електричні імпульси, які за допомогою зорового нерва передаються в мозок. У сітківці є особливі світлочутливі клітини, які називають, відповідно до їх форми, **паличками** і **колбочками.** Загальна кількість паличок у сітківці людського ока досягає 130 мільйонів, а колбочок – близько 7 мільйонів. Палички є органами чорно-білого зору, а колбочки – органами кольорового зору.

Як утворюється і сприймається оком зображення предмета?

Промені світла, поширюючися від предмета, потрапляють в око, заломлюються в рогівці, кришталику і скловидному тілі, унаслідок чого на сітківці формується дійсне зменшене і перевернуте зображення предмета (мал. 189).

Світлочутливі клітини сітківки перетворюють зображення на нервовий імпульс, який по зоровому нерву передається в головний мозок, де формується зображення у неперевернутому вигляді.



Мал. 189

Око володіє чудовою властивістю. Завдяки зміні кривизни кришталика ми можемо чітко бачити предмети, що розміщені на різних відстанях від ока.

Здатність ока пристосовуватися до бачення предметів як на далекій, так і на близькій відстані називають **акомодацією** ока (лат. *accomodatio* – «пристосування»). Для нормального ока відстань найкращого бачення складає 25 см. Вам слід це враховувати, коли ви читаєте або пишете.

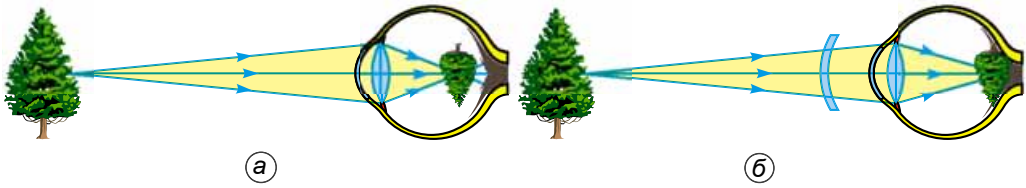
ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

У риб очі відрізняються плоскою рогівкою і кулястим кришталиком. Акомодація ока в риб досягається переміщенням кришталика. У задній стінці судинної оболонки часто міститься особливий шар клітин, наповнений кристалами світлого пігменту, – це так звана сріблясta оболонка. Іноді також є блискучий шар – люстерко, або тапетум, клітини якого містять кристалічний пігмент. Цей шар відбиває світлові промені на сітківку, що зумовлює свічення очей деяких риб у майже повній темноті, наприклад в акул. У земноводних рогівка ока дуже

опукла, а акомодація ока здійснюється, як і в риб, переміщенням кришталика. Акомодація у плазунів відбувається не тільки за рахунок переміщення кришталика, але і шляхом зміни його форми. Птахи володіють дуже гострим зором. Очне яблуко в них дуже великих розмірів і своєрідної будови, завдяки чому збільшується поле зору. У птахів, що мають особливо гострий зір (грифи, орли), очне яблуко подовженої «телескопічної» форми.

У процесі розвитку людського організму можуть виникати окремі відхилення від правильної форми очного яблука, унаслідок чого порушується умова якнайкращого зору: зображення предметів формується не на сітківці ока. Найпоширенішими є два дефекти зору – **короткозорість** і **далекозорість.**

Короткозорість виникає, якщо фокусна відстань ока порівняно з нормальним оком збільшилася. Якщо предмет розміщений на відстані 25 см від короткозорого ока, зображення предмета буде не на сітківці, а ближче до кришталика, перед сітківкою (мал. 190, *а*). Тому в короткозорого ока відстань найкращого зору менша від 25 см.

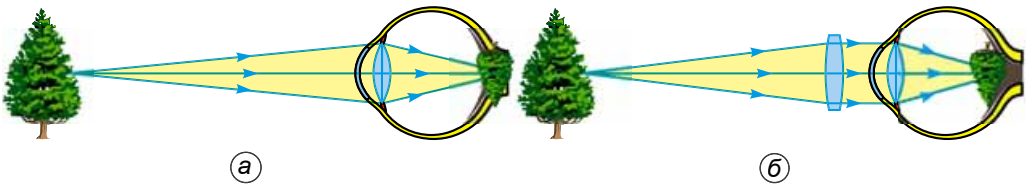


Мал. 190

Щоб виправити цей недолік зору, потрібно перед рогівкою розмістити розсіювальну лінзу (мал. 190, *б*). Із цією метою на практиці використовують окуляри з опукло-ввігнутими лінзами.

Якщо фокусна відстань ока зменшилася порівняно з нормальним оком, людина стає далекозорою – зображення предмета утворюється за сітківкою (мал. 191, *а*). Зображення формується на сітківці, якщо предмет віддалити від ока. Звідси і випливає назва цієї вади зору – далекозорість.

Щоб виправити далекозорість, перед рогівкою слід розмістити збиральну лінзу (мал. 191, *б*). Із цією метою людина використовує окуляри з двоопуклими або вгнуто-опуклими лінзами.



Мал. 191

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яка будова ока і яке призначення його основних частин?
2. Яке зображення утворюється на сітківці ока?
3. Що таке акомодація ока?
4. Які дві основні вади зору ви знаєте?
5. У чому відмінність між короткозорістю і далекозорістю?
6. Як можна скоригувати короткозорість і далекозорість?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

Мал. 192

1. Чи потрібно використовувати окуляри, якщо ви працюєте з будь-яким оптичним приладом, наприклад мікроскопом (мал. 192)?

Відповідь: кожний оптичний прилад має свою фокусну відстань, і за допомогою відповідних регулювальних пристроїв його можна налаштувати на нормальний зір. Якщо дослідник не зняв окуляри, то в цьому випадку створюється система лінз, яка також не спотворює спостережуваних об'єктів.

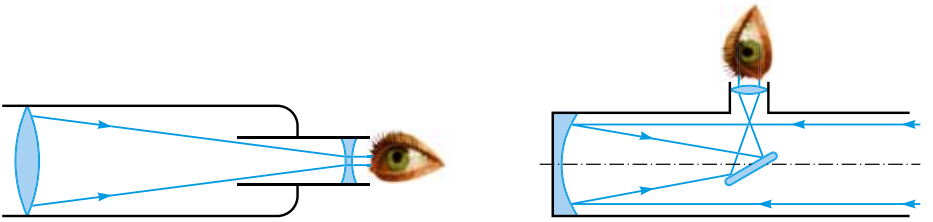
2. Що означають написи на оправі лупи: $5^{\times}$, $7^{\times}$, $20^{\times}$ і т. д.?

Відповідь: збільшення в 5, 7, 20 разів.

Рівень А

121. Яке збільшення можна отримати за допомогою мікроскопа, якщо його об'єктив дає збільшення в 40 разів, а окуляр – у 15 разів?

122. На малюнку 193 зображено схеми зорової труби Галілея і телескопа Ньютона. Укажіть, яка з них є схемою телескопа Ньютона.



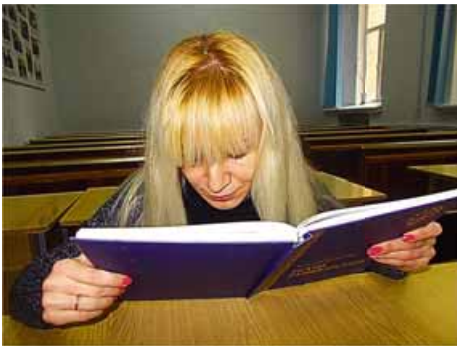
Мал. 193

123. На малюнку 194 зображено дівчину з вадою зору. Якою саме?

124. Які оптичні прилади зображено на малюнку 195?

Рівень Б

125. Мікроскоп можна розглядати як поєднання двох простих оптичних приладів. Яких саме? Чому?



Мал. 194

Мал. 195

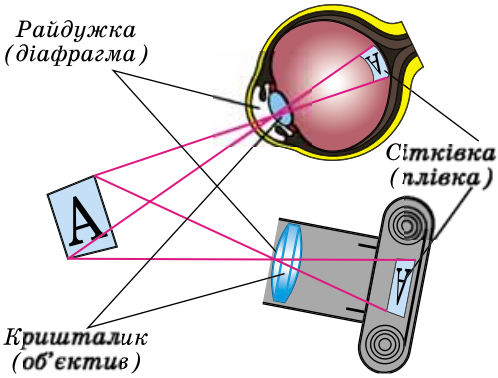
126. Можна почути такий вислів: «Телескоп наближає до спостерігача небесні тіла – Місяць, Сонце, планети». У чому помилковість такого твердження? Чому ці небесні тіла здаються нам збільшеними?

127. Чому фотоапарат дає зменшене зображення предмета?

128. На який оптичний прилад найбільше схоже за своєю будовою око людини (мал. 196)?

129. Для яких людей – короткозорих чи далекозорих – призначено окуляри, якщо лінзи їх за всіх умов не дають зображення лампи на екрані?

130. Які окуляри лежать на книжці (мал. 197)?



Мал. 196

Мал. 197

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Назвіть природні джерела світла та вкажіть, де їх використовують.
2. Чому відбуваються сонячні і місячні затемнення?
3. Укажіть, де використовуються закони відбивання світла.
4. Обґрунтуйте, виходячи із законів заломлення світла, чому промені, які падають перпендикулярно до межі поділу двох середовищ, не повинні заломлюватися.
5. Як пояснити виникнення подвійної веселки?

6. Космонавти Сонце бачать білим, ми – жовтим. Але чому біля горизонту під час заходу воно має червоний колір і диск його збільшений?
7. Які типи лінз ви знаєте і де вони використовуються?
8. Яке зображення предмета буде, якщо поєднати збиральну і розсіювальну лінзи?
9. Які оптичні прилади ви знаєте і яке їх призначення?
10. Яке призначення мікроскопа і телескопа?
11. Де утворюється зображення предметів в оці людини?
12. Яким чином виправляють вади зору?

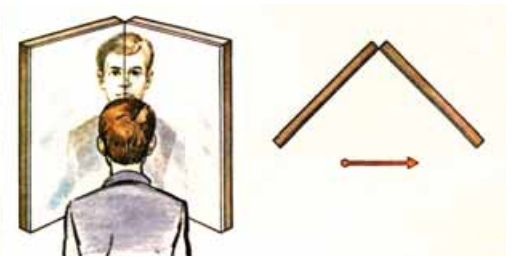
Що я знаю і вмію робити

Я вмію будувати зображення у плоскому дзеркалі.

1. Побудуйте зображення предмета у плоскому дзеркалі (мал. 198, *а*).

2. Яких найменших розмірів має бути дзеркало (мал. 198, *б*), щоб людина могла побачити себе в ньому на повний зріст? На якій висоті слід його прикріпити? Чи залежатимуть розміри дзеркала та висота, на якій воно встановлене, від відстані між дзеркалом і людиною?

Мал. 198



Мал. 199

3. Хлопець розглядає своє зображення у двох плоских дзеркалах, розміщених перпендикулярно одне до одного (мал. 199). Які характерні особливості зображення, яке бачить хлопець? Побудуйте зображення предмета в такому дзеркалі.

Я вмію будувати зображення, яке дає лінза.

4. На малюнку 200 показано розміщення світної точки та її зображення. Побудовою знайдіть положення оптичного центра лінзи та її головних фокусів. Укажіть, яка це лінза.

Мал. 200

5. Між світною точкою і її зображенням (мал. 201) розміщено дві лінзи. Укажіть, які це лінзи. Знайдіть положення цих лінз.

Мал. 201

Я знаю, що таке дисперсія світла.

6. Білий промінь світла переходить зі скляної призми в повітря. Що при цьому відбувається?

7. Що бачить людина, яка розглядає крізь скляну призму лінію на білому папері?

8. На чорний екран наклеїли горизонтальну вузьку смужку білого паперу. Якими здаватимуться верхній і нижній краї цього паперу, якщо на нього дивитися крізь призму, обернену заломлюючим ребром угору?

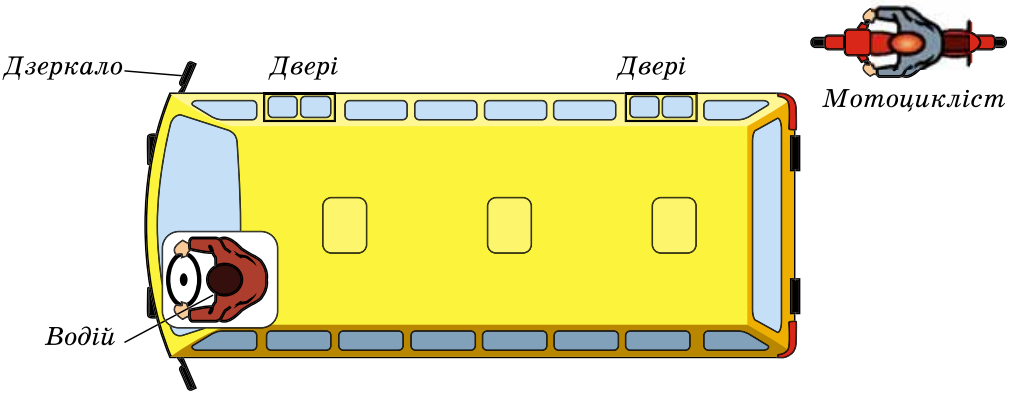
9. У посудину із зеленого скла налито червоне чорнило. Якого кольору здається чорнило? Чому?

Я вмію конструювати.

10. «Орієнтація фотокамери». Електронні варіанти знімків, які зроблені сучасними цифровими фотоапаратами, містять інформацію про час та режими фотографування, камеру, якою зроблено знімок, тощо. Проте не зайвими були б і дані стосовно орієнтації камери (під якими кутами вона нахилена до вертикалі та перпендикулярної до неї лінії – горизонту). У разі потреби в горизонтальній орієнтації кадрового вікна, одним з розв'язань цієї задачі була пропозиція підвішувати поблизу площини кадрового вікна невеликий предмет у вигляді стержня або стрілочки (своєрідний висок), який залишав би на плівці (у нашому випадку – матриці) тінь, за зображенням якої і можна було б робити відповідний висновок. Проте зайві деталі на знімку завжди знижують його якість, особливо в художній фотографії. Запропонуйте розв'язання цієї проблеми сучасними засобами.

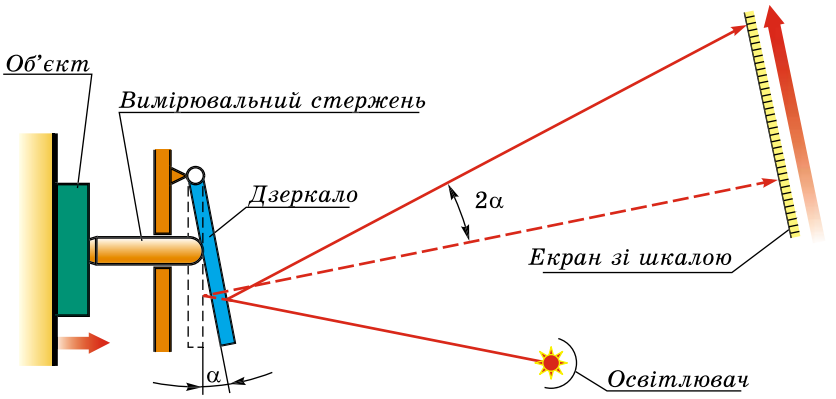
Я знаю і вмію пояснити технічне застосування оптичних явищ.

11. Побудуйте зображення дверей автобуса і мотоцикліста у дзеркалі (мал. 202), закріпленому на автобусі збоку. Яких розмірів має бути дзеркало, щоб водій міг бачити в ньому зображення обох дверей і мотоцикліста?



Мал. 202

12. Щоб збільшити точність вимірювань довжин, вимірювальну частину приладів конструюють за важільно-оптичною схемою (мал. 203). Функцію своєрідного важеля виконує промінь світла. Розгляньте схему приладу і поясніть призначення дзеркала в ньому і як досягається збільшення точності вимірювань.



Мал. 203

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Яке випромінювання називають світлом?

А видиме **Б** будь-яке **В** невидиме **Г** теплове

2. Чи є Місяць джерелом світла?

А так **Б** ні, тому що він тільки відбиває сонячне світло

3. Чому в кімнаті, стіни якої пофарбовано або поклеєно світлими шпалерами, завжди світліше, ніж при такому самому освітленні в кімнаті з темними стінами?

А бо світло багаторазово відбивається від світлих стін **Б** бо світло заломлюється
В бо світло в кімнаті з темними стінами поглинається

4. Людина стоїть на відстані 2 м від плоского дзеркала. На якій відстані від себе вона бачить своє зображення у дзеркалі?

А 2 м **Б** 4 м **В** 6 м **Г** 1 м

5. Чи може світло переходити з одного середовища в інше не заломлюючись?

А так, якщо світло поширюється паралельно до середовищ
Б так, якщо світло поширюється перпендикулярно до межі поділу середовищ
В ні, світло завжди заломлюється

6. Яке зображення дає збиральна лінза, якщо предмет знаходиться між лінзою і фокусом?

А зменшене, пряме, дійсне **Б** збільшене, уявне, пряме
В збільшене, перевернуте, дійсне

7. Яке зображення дає збиральна лінза, якщо предмет знаходиться між фокусом і подвійним фокусом?

А зменшене, пряме, дійсне **Б** збільшене, уявне, пряме
В збільшене, перевернуте, дійсне

8. Під час фотографування на об'єктив фотоапарата сіла муха. Як це вплине на знімок?

А ніяк не вплине **Б** з'явиться зображення мухи
В фотознімок буде менш яскравим **Г** фотознімок буде більш яскравим

9. Де утворюється зображення предмета в далекозорої людини?

А перед сітківкою **Б** не утворюється взагалі **В** за сітківкою **Г** на сітківці

10. У рецепті для придбання окулярів написано: окуляри +1,5 Д. Укажіть, для яких очей вони призначені?

А далекозорих **Б** короткозорих **В** нормальних

11. Яким дослідом можна довести, що біле світло звичайної електричної лампи є складним світлом, що складається з різних кольорових променів?

А дослідом з розкладання світла за допомогою лінзи
Б дослідом з розкладання світла тригранною призмою
В дослідом з розкладання світла скляною пластинкою
Г дослідом з відбивання світла від будь-якої поверхні

12. На чорному тлі зображено спектр сонячних променів. Чи побачимо ми весь спектр, якщо його освітити фіолетовим світлом?

А буде видно весь спектр **Б** буде видно весь спектр, окрім фіолетової частини
В спектра не буде видно **Г** буде видно тільки фіолетову частину спектра

Варіант 2

1. Чи може тінь за своїми розмірами бути: а) більшою за предмет; б) меншою за предмет; в) дорівнювати розмірам предмета?

А може бути більшою **Б** може бути меншою
В може дорівнювати **Г** може бути більшою, меншою і дорівнювати

2. Тривалість якого явища більша – повного затемнення Місяця чи повного затемнення Сонця?

А повного затемнення Сонця **Б** повного затемнення Місяця **В** однакова

3. Кут падіння променя на дзеркало дорівнює 45°. Укажіть, який буде кут відбивання.

А 45° **Б** 90° **В** 0° **Г** 180°

4. Спортсмен рухається до плоского дзеркала зі швидкістю 2 м/с. З якою швидкістю він наближається до свого зображення?

А 1 м/с **Б** 2 м/с **В** 3 м/с **Г** 4 м/с

5. Що відбувається зі світлом під час проходження його через лінзу?

А нічого **Б** світло відбивається
В світло частково відбивається і заломлюється **Г** світло заломлюється

6. Яке зображення дає збиральна лінза, якщо предмет розміщений у фокусі?

А зменшене, пряме, дійсне
Б зображення не дає
В збільшене, перевернуте, дійсне

7. Яке зображення дає збиральна лінза, якщо предмет розміщений у подвійному фокусі?

А зменшене, пряме, дійсне **Б** збільшене, уявне, пряме
В однакове, перевернуте, дійсне

8. З яким оптичним приладом порівнюється око людини?

А з мікроскопом **Б** з телескопом **В** з лупою **Г** з фотоапаратом

9. Де утворюється зображення предмета у короткозорої людини?

А перед сітківкою **Б** не утворюється взагалі **В** за сітківкою **Г** на сітківці

10. Для людей з вадами зору виготовляють так звані біфокальні окуляри, у яких верхня частина кожного скла призначена для зору на далекі відстані, а нижня – для читання або розглядання предметів на близьких відстанях. Які біфокальні окуляри були б зручними для далекозорої людини?

А у яких верхня частина кожного скла призначена для зору на далекі відстані
Б для читання або розглядання близьких предметів

11. Чому виникає веселка?

А тому що сонячні промені розсіюються повітрям
Б тому що сонячні промені заломлюються в дощових краплинах
В тому що сонячні промені заломлюються в повітрі

12. Чому білі предмети здаються синіми, якщо їх розглядати через синій фільтр (окуляри)?

А тому що синій фільтр (окуляри) не пропускає синіх променів
Б тому що синій фільтр (окуляри) пропускає тільки сині промені
В тому що синій фільтр (окуляри) взагалі не пропускає світла
Г тому що синій фільтр (окуляри) пропускає будь-яке світло

Розділ 3
МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

Виникнення і поширення механічних хвиль • Звукові хвилі • Швидкість поширення звуку, довжина і частота звукової хвилі • Гучність звуку та висота тону • Інфра- та ультразвуки • Електромагнітне поле і електромагнітні хвилі • Швидкість поширення, довжина і частота електромагнітної хвилі • Властивості електромагнітних хвиль • Шкала електромагнітних хвиль • Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій

§ 17. ВИНИКНЕННЯ І ПОШИРЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ

Спостереження. Стоячи на березі озера або ставка, ви могли спостерігати, як колами розходяться хвилі від місця, куди було кинуто камінь, як розхитують хвилі човен або катер. Вітер порушує рівновагу морської поверхні, здається, що море насувається на берег, але це не так. Не переміщується по полю колосся, коли «хвилюється нива», воно тільки нахиляється і знову розпрямляється. За кораблем або човном завжди виникає типова картина хвиль.

Хвильові процеси дуже поширені у природі. Фізичні основи хвильових рухів різні, але всі вони пояснюються однаковими законами.

Що ж називають хвилею? Які причини виникнення хвиль?

Ви знаєте, що тверді, рідкі і газуваті тіла складаються із частинок, що взаємодіють між собою. Якщо частинка тіла починає коливатися, то внаслідок взаємодії її з іншими частинками тіла цей рух поширюється з певною швидкістю в усіх напрямках.

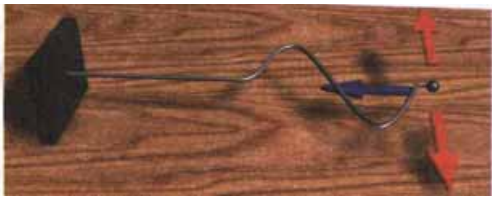
Хвиля — процес поширення коливань у будь-якому середовищі. Хвиля — це зміна стану середовища, яка поширюється у просторі й переносить енергію.

Мал. 204

Спостереження. Розглянемо особливості поширення хвиль. Якщо розглядати хвилі на поверхні води (мал. 204), то вони здаються валами, які рухаються в певному напрямку, причому відстані між валами, або гребнями, однакові.

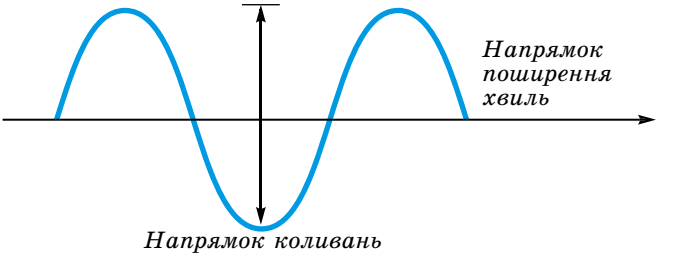
Якщо кинути у воду поплавок, його не відноситиме хвилею, він здійснюватиме коливання вгору-вниз, залишаючись приблизно на одному місці.

Під час поширення хвилі змінюється стан коливного середовища, а речовина при цьому не переноситься. Від кинутого каменя починає коливатися певна ділянка води, ці коливання передаються сусіднім ділянкам і поступово поширюються на всі боки. Вода ж не переміщається, змінюється лише форма її поверхні.



Мал. 205

Дослід 1. Закріпимо один кінець довгого гумового шнура і легенько натягнемо його рукою за другий кінець, примусимо шнур коливатися. По шнуру побіжить хвиля (мал. 205). Що сильніше натягнуто шнур, то більша швидкість поширення хвилі. Хвиля добіжить до точки закріплення, відіб'ється і побіжить у зворотному напрямку.

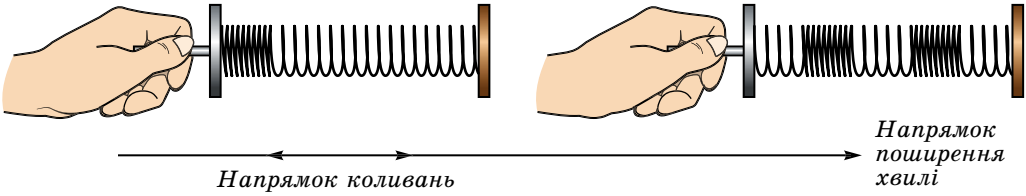


Мал. 206

Під час поширення хвилі змінюється тільки форма шнура, а кожна його ділянка коливається відносно свого положення рівноваги, причому коливання відбуваються в напрямку, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі (мал. 206). Такі хвилі називають **поперечними хвилями.**

Поперечні хвилі – це хвилі, у яких частинки коливаються в напрямку, перпендикулярному до напрямку їх поширення.

Дослід 2. Візьмемо довгу м'яку пружину великого діаметра. Якщо вдарити по одному з її кінців, по пружині «побіжить» стиснення. Повторюючи удари, можна збудити у пружині хвилю, яка буде являти собою послідовні стискування і розтягування пружини (мал. 207). Будь-який виток пружини здійснює коливання в напрямку поширення хвилі. Таку хвилю називають **поздовжньою хвилею.**



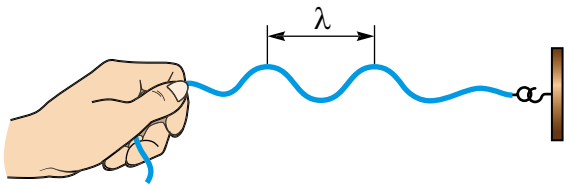
Мал. 207

Поздовжні хвилі – це хвилі, у яких частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі.

У процесі поширення хвилі рух передається від однієї ділянки тіла до іншої. З передачею руху пов'язана передача енергії. Передача енергії без перенесення речовини – основна властивість усіх хвиль.

Будь-які хвилі характеризуються довжиною і швидкістю їх поширення.

Довжина хвилі – це відстань між найближчими одна до одної точками хвилі, які коливаються в однаковій фазі (мал. 208).



Мал. 208

Довжину хвилі позначають грецькою літерою λ (лямбда). Її одиницею є **один метр (1 м).**

Важливою характеристикою хвилі є швидкість її поширення. Хвилі будь-якої природи поширюються у просторі не миттєво, а з певною швидкістю. Наприклад, можна побачити, як чайка летить над морем ніби увесь час над одним гребенем хвилі. У цьому випадку швидкість польоту чайки дорівнює швидкості поширення хвилі.

А як можна визначити швидкість поширення хвилі?

Ви вже знаєте, що будь-яке коливання характеризується періодом коливань, тобто часом, після якого коливання повторюються. Тоді можна сказати, що за один період хвиля поширюється на відстань λ. Тому швидкість її поширення можна визначити за формулою:

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T},$$

де υ – швидкість поширення хвилі (м/с); λ – довжина хвилі (м); T – період коливань (с).

Оскільки період і частота пов'язані співвідношенням $T = \frac{1}{\nu}$, то $\upsilon = \lambda\nu$.

Щоб визначити швидкість поширення хвилі, треба довжину хвилі поділити на період коливань або довжину хвилі помножити на частоту коливань.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають хвилею?
2. Що відбувається під час поширення хвилі?
3. Які хвилі називають поперечними?
4. Які хвилі називають поздовжніми?
5. Назвіть основну властивість хвиль.
6. Що називають довжиною хвилі?
7. Як можна визначити швидкість поширення хвилі?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Визначте швидкість поширення хвилі на воді, якщо її довжина дорівнює 180 м, а період коливань – 15 с.

Дано:	Розв'язання
λ = 180 м T = 15 с	За формулою $\upsilon = \frac{\lambda}{T}$ визначаємо швидкість поширення хвилі на воді.
υ – ?	υ = 180 м : 15 с = 12 м/с.

Відповідь: 12 м/с.

2. Яка основна властивість механічної хвилі?

Відповідь: переносити енергію.

Рівень А

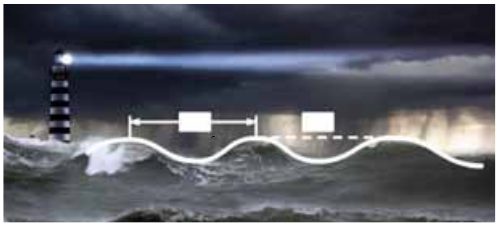
131. Укажіть назви фізичних величин, що характеризують хвилю, які закрито світлими прямокутниками (мал. 209).

132. По поверхні води в озері хвиля поширюється зі швидкістю 6 м/с. Визначте період і частоту коливань бакена, якщо довжина хвилі 3 м.

133. Визначте довжину хвилі, якщо її частота 4 Гц, а швидкість її поширення 2 м/с.

134. В океанах довжина хвилі сягає 270 м, а період – 13,5 с. Визначте швидкість поширення такої хвилі.

135. Човен гойдається на хвилях, які поширюються зі швидкістю 1,5 м/с. Відстань між двома найближчими гребенями хвиль 6 м. Визначте період коливань човна.



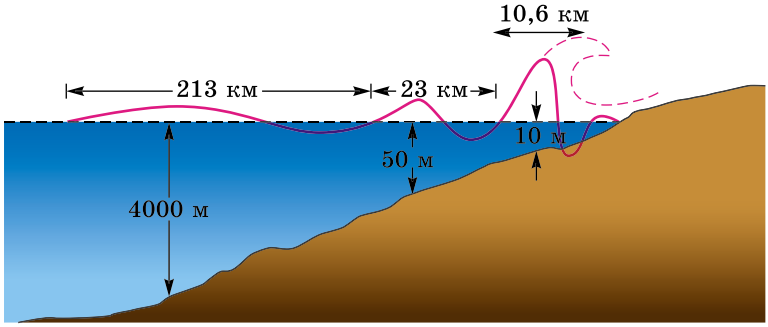
Мал. 209

Рівень Б

136. Морські хвилі, наближаючись до берега, збільшують свою висоту. Як це пояснити?

137. На малюнку 210 зображено, як під час землетрусу в океані утворюються гігантські хвилі-цунамі. Поясніть, як вони виникають.

138. У річку кинули камінь. Який вигляд матиме утворена хвиля: круглої чи видовженої форми?



Мал. 210

139. За яких умов дамба захищає кораблі, які стоять у порту, від шторму в морі?

140. Виконайте такі досліди: киньте якомога вертикальніше камінь у стоячу воду. Ви, очевидно, спостерігатимете утворення хвиль, які поширюватимуться концентричними колами. А що буде, коли такий камінь кинути в річку зі швидкою течією?

141. По поверхні води в озері хвиля поширюється зі швидкістю 6 м/с. Визначте період і частоту коливань бакена, якщо довжина хвилі 3 м.

§ 18. ЗВУКОВІ ХВИЛІ. ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ, ДОВЖИНА І ЧАСТОТА ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ. ГУЧНІСТЬ ЗВУКУ ТА ВИСОТА ТОНУ

Ми живемо у світі звуків. Звук – це голоси людей, спів птахів, звуки музичних інструментів, шум лісу, грім під час грози тощо.

Що таке звук? Як він виникає? Чим одні звуки відрізняються від інших?

Звук – це механічні коливання будь-якої частоти у пружному середовищі.

Розділ фізики, у якому вивчаються звукові явища, називають **акустикою.**

Акустика – це вчення про виникнення, поширення і сприйняття звукових хвиль.

Хвилі на поверхні води або вздовж гумового шнура можна побачити. Якщо ж хвилі поширюються у прозорому середовищі (наприклад, повітрі або рідині), вони невидимі. Але за певних умов їх можна чути.

Мал. 211

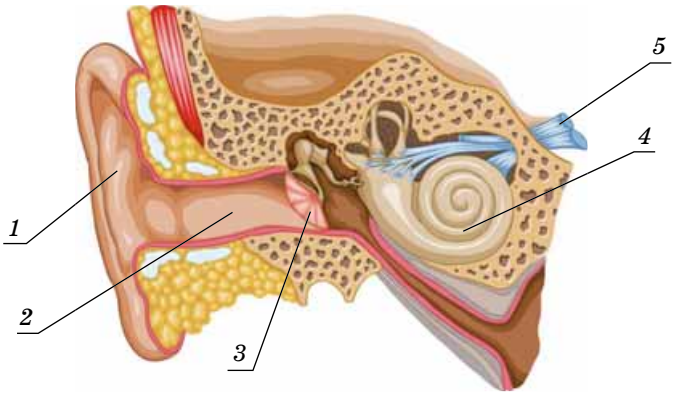
Дослід 1. Закріпимо довгу сталеву лінійку в лещатах або щільно притиснемо її до краю столу. Відхиливши вільний кінець лінійки від положення рівноваги, примусимо її коливатися (мал. 211).

Якщо лінійка досить довга, ми нічого не почуємо. Вкоротимо вільний кінець лінійки, й вона почне «звучати».

Сталева лінійка, яка коливається, стискує шар повітря, що прилягає до одного її боку, і одночасно створює розрідження з другого боку. Ці стискання і розрідження чергуються в часі і поширюються в обидва боки у вигляді поздовжньої хвилі. Вона досягає нашого вуха і викликає коливання барабанної перетинки (*3*), яка знаходиться в середньому вусі (мал. 212).

Вухо людини – прекрасний приймач звукових коливань. Воно складається з трьох частин: зовнішнього, середнього і внутрішнього вуха.

Елементами зовнішнього вуха є вушна раковина (*1*) і зовнішній слуховий прохід (*2*). Вони слугують для того, щоб направляти звукові хвилі до барабанної перетинки (*3*). Барабанна перетинка і поєднані з нею три слухові кі-



Мал. 212

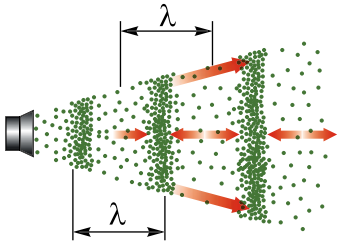
сточки – це середнє вухо. Вони передають звукові коливання до внутрішнього вуха – овальної порожнини (*4*). Тут звукові коливання перетворюються на послідовність нервових імпульсів, які передаються в мозок слуховим нервом (*5*).

Вухо людини сприймає звукові коливання, частота яких лежить у межах від 16–17 до 20 000 Гц. Такі коливання називають звуковими, або акустичними. У попередньому досліді ми спостерігали: що коротший виступаючий кінець лінійки, то більша частота його коливань. Тому ми і чули звук, достатньо вкоротивши кінець лінійки.

Будь-яке тверде, рідке або газувате тіло, що коливається зі звуковою частотою, створює в оточуючому середовищі звукову хвилю.

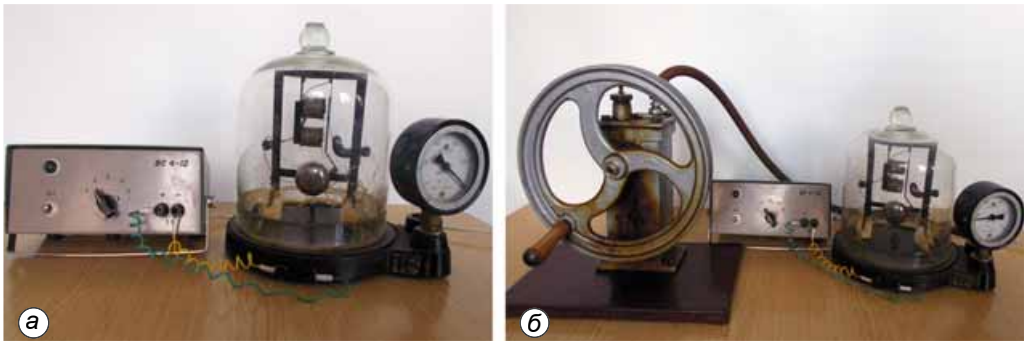
Найчастіше наших вух досягають хвилі, що поширюються в повітрі. Якщо звукова хвиля поширюється в повітрі, то вона є поздовжньою, оскільки в газах можливе поширення тільки таких хвиль.

У поздовжніх хвилях коливання частинок приводять до того, що в газі виникають стискання і розрідження, що періодично повторюються (мал. 213).



Мал. 213

Дослід 2. Розмістимо джерело звуку під ковпаком повітряного насоса (мал. 214, *а*) і почнемо викачувати з нього повітря. У міру того як кількість повітря під ковпаком зменшується, звук слабшає, а потім узагалі зникає (мал. 214, *б*).



Мал. 214

Такий дослід уперше виконав у 1660 р. **Роберт Бойль** і тим самим довів, що звук **добре поширюється в повітрі і зовсім не поширюється в безповітряному просторі, який називають вакуумом.**

Звук поширюється також у рідких і твердих середовищах. Занурившись повністю у воду під час купання, ви можете почути звук від удару під водою каменем об камінь навіть на великій відстані (мал. 215). Під водою також добре чути звуки грібних гвинтів теплоходів тощо.

Мал. 215

Дослід 3. Прикладіть щільно до вуха кінець довгої дерев'яної лінійки і легенько постукайте по другому її кінцю ручкою. Ви добре чутимете звук. Відведіть лінійку на деяку відстань від вуха і постукайте по ній знову. Ви майже не почуєте звуку.

Шум поїзда, який лунає з далекої відстані, не чутно, але його можна почути, якщо прикласти вухо до рейки. Добре проводить звук також земля.

Звук добре поширюється в рідинах і твердих тілах.

Існують матеріали, які погано проводять звук, оскільки поглинають його. Наприклад, пористі панелі, пресовану пробку, пінопласт використовують для звукоізоляції, тобто для захисту приміщень від проникнення в них сторонніх звуків. Звукові хвилі, подібно до всіх інших хвиль, поширюються з кінцевою швидкістю. Ви, напевно, помічали, що спалах блискавки передує ударові грому. Якщо гроза далеко, то звук грому ми почуємо через кілька десятків секунд.

Як і будь-яка хвиля, звукова хвиля характеризується швидкістю поширення коливань. З довжиною хвилі λ і частотою коливань ν швидкість поширення хвилі υ пов'язана вже відомою вам формулою:

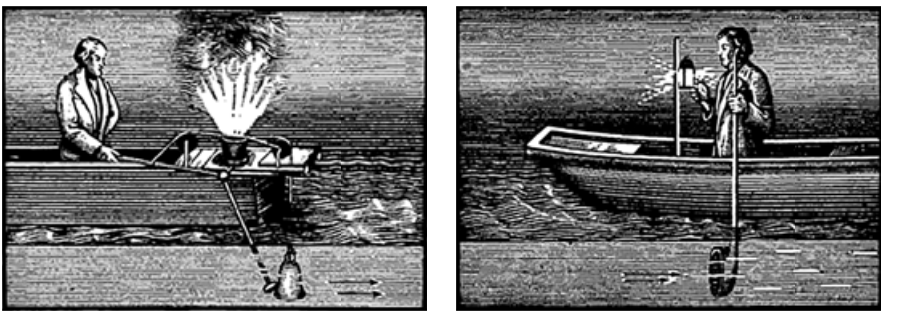
$$\upsilon = \lambda\nu,$$

де υ – швидкість поширення звукової хвилі (м/с); λ – довжина звукової хвилі (м); ν – частота коливань (Гц).

Мал. 216

Швидкість поширення звуку в різних середовищах різна. За допомогою дослідів у 1822 р. було встановлено (мал. 216), що в повітрі за температури 10 °С швидкість поширення звукових хвиль дорівнює 337,2 м/с.

У воді швидкість поширення звуку більша, ніж у повітрі. Уперше її виміряли в 1827 р. на Женевському озері у Швейцарії. На одному човні запалювали порох і синхронно вдаряли в підводний дзвін (мал. 217). Другий човен знаходився на відстані 14 км від першого. Звук уловлювали за допомогою опущеного у воду рупора. За різницею часу між спалахом світла і отриманням звукового сигналу визначили швидкість поширення звуку. За температури 8 °С швидкість поширення звуку у воді дорівнює 1435 м/с.



Мал. 217

У твердих тілах швидкість поширення звуку більша, ніж у рідинах. У таблиці подано значення швидкості поширення звукових хвиль у різних середовищах.

Швидкість поширення звуку в різних середовищах *Таблиця*

Тверде тіло	v, м/с	Рідина	v, м/с (20 °С)	Газ	v, м/с (0 °С)
Алюміній	6260	Ацетон	1192	Азот	334
Залізо	5850	Бензин	1170	Водень	1284
Лід	3980	Вода	1460	Повітря	331
Гума	1040	Вода морська	1451	Гелій	955
Скло	5990	Гліцерин	1923	Кисень	316
Порцеляна	5340	Ртуть	1451	Метан	429
Ебоніт	2405	Спирт	1180	Вуглекислий газ	259

У таблиці вказано значення швидкості поширення звуку в різних середовищах за певної температури, адже швидкість поширення звуку в середовищі залежить від його температури.

Наприклад, швидкість поширення звуку в рідинах (за винятком води) зменшується з підвищенням температури, а в газах швидкість поширення звуку за постійного тиску з підвищенням температури збільшується.

Сучасна техніка дає змогу виміряти швидкість поширення звуку з високою точністю (мал. 218).

Мал. 218

Швидкість поширення звуку в середовищі залежить від його температури.

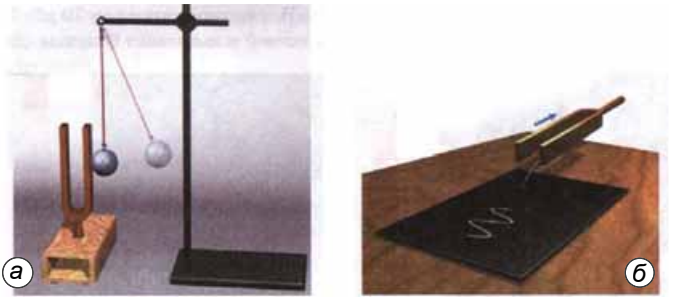
Звуки, які ми кожний день чуємо, дуже різноманітні. Вони поділяються на музичні звуки і шуми. До перших належать спів, звучання струн скрипки (мал. 219), гітари або віолончелі, духових чи інших музичних інструментів, свист тощо. Шуми виникають під час грози, створюються працюючими двигунами, листям, що шелестить, тощо.

За допомогою органів мови люди можуть відтворювати музичні звуки і, звичайно, створювати шум.

Але чим, з точки зору фізики, відрізняються музичні звуки від шуму і чому такими несхожими між собою можуть бути музичні звуки?

Мал. 219

Дослід 4. Візьмемо камертон (нім. *kammerton* – «гребінь») і вдаримо по одній з його ніжок кулькою (мал. 220, *а*). Ми почуємо музичний звук «ля» частотою 440 Гц. Поступово внаслідок згасання коливань ніжок звук слабне. Отже, звукова хвиля збуджується ніжками камертона, що здійснюють коливання. Характер цих коливань можна визначити, якщо прикріпити до ніжки камертона голку і, збудивши коливання камертона, рівномірно провести нею по поверхні закопченої скляної пластинки. На пластинці з'явиться лінія, як це зображено на малюнку 220, *б*. Кажуть, що ніжки камертона коливаються гармонійно.



Мал. 220

Звук, створений тілом, що гармонійно коливається, називають *музичним тоном*, або *тоном*.

Музичні тони відрізняються на слух **гучністю** і **висотою.**

Гучність звуку залежить від різниці тисків, амплітуди і частоти звукових коливань. Наприклад, що сильніший удар кульки по камертону, то гучніше він звучить, оскільки сильний удар є причиною виникнення коливань більшої амплітуди.

Гучність звуку залежить від різниці тисків, амплітуди і частоти звукових коливань.

Про звуки різної гучності говорять, що один гучніший від іншого не в стільки-то разів, а на стільки-то одиниць. Одиницею гучності звуку є **один децибел (1 дБ)**. Її названо на честь американського вченого **Олександра Грейама Белла** – винахідника телефону і слухових апаратів для глухих.

Гучність звуку шелесту листя складає 10 дБ, шепоту – 20 дБ, вуличного шуму – 70 дБ. Шум гучністю 130 дБ відчувається шкірою і викликає больові відчуття (мал. 221).

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Найгучнішим у світі тварин є блакитний кит. Він може видавати звуки гучністю 188 дБ, які чути на відстані до 850 км.

Чутливість вуха залежить від частоти звуку. Звукові коливання однакових амплітуд здаються неоднаково гучними, якщо їх частоти різні. Вухо людини найбільш чутливе до коливань частотою близько 3500 Гц.

Рівень шуму, Дб
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
допустимий
гранично допустимий
недопустимий

Мал. 221

Мал. 222

Гучність звуку вимірюють спеціальним приладом – **сонометром** (мал. 222).

Дослід 5. Візьмемо кілька камертонів різних розмірів. Почергово змусимо їх звучати і кожного разу голкою, прикріпленою до ніжки камертона, проводитимемо вздовж закопченої пластинки, як це показано на малюнку 220, *б*. Порівнюючи отримані результати, ми помічаємо: що вищий звук камертона, то менший період коливань і, відповідно, більша частота коливань ніжок камертона.

Висота звуку залежить від частоти коливань.

Те саме можна спостерігати на прикладі струни, що коливається. Натягуючи струну гітари або скрипки, ми збільшуємо частоту коливань, висота звуку збільшується.

Графіки звукових коливань, що створюються звучними камертонами, наприклад камертоном «ля» (440 Гц), або музичними інструментами, можна спостерігати за допомогою комп'ютера або осцилографа (мал. 223, 224).

Мал. 223

Мал. 224

А що ж таке шум? Шум відрізняється від музичного тону тим, що йому не відповідає якась певна частота коливань і, таким чином, певна висота звуку.

Шум – це сукупність коливань різних частот.

Який вигляд мають ці коливання, також можна побачити, використовуючи мікрофон і комп'ютер або осцилограф.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що вивчає акустика?
2. Які коливання називають звуковими, або акустичними?
3. Як виникають звукові хвилі?

4. Де можуть поширюватися звукові хвилі?
5. Як можна визначити швидкість поширення звукових хвиль?
6. Від чого залежить швидкість поширення звукових хвиль?
7. Користуючись таблицею (див. с. 105), визначте, у якій речовині швидкість поширення звуку найменша; найбільша.
8. Які основні види звуків ви знаєте?
9. Що таке тон? Що таке шум?
10. Від чого залежить гучність звуку? Висота звуку?

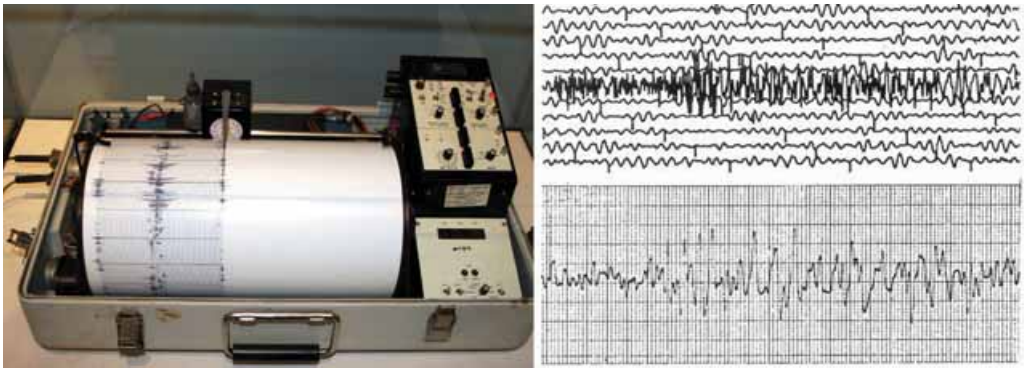
§ 19. ІНФРАЗВУКИ ТА УЛЬТРАЗВУКИ

Ви вже знаєте, що механічні коливання частотою від 16 до 20 000 Гц належать до звукових, які чує людина. Але існують звукові коливання, яких людина не чує.

Коливання з меншими частотами називають **інфразвуком** (лат. *infra* – «нижче», «під»).

Інфразвукові коливання (інфразвук) – це коливання, частота яких менша за найнижчу частоту звукових коливань, тобто за 16 Гц.

Вухо людини інфразвук не сприймає. Він виникає під час штормів, гроз, землетрусів. Інфразвук мало поглинається середовищем і може поширюватися на великі відстані. Дія **сейсмографа** ґрунтується на інфразвуці. Такий прилад призначений для передбачення землетрусів, для вивчення будови Землі, розвідки корисних копалин (мал. 225).



Мал. 225

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

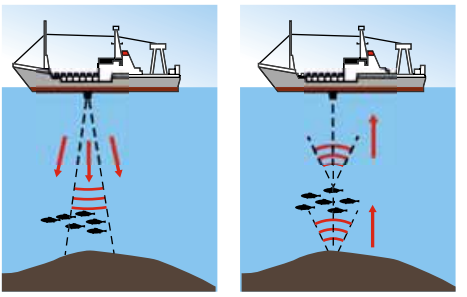
На острові Ява росте квітка – живий сейсмограф, яку називають королівською примулою. Вона відрізняється від усіх інших примул тим, що цвіте лише перед виверженням вулкана, чим і попереджає людей про небезпеку.

Звукові коливання, частота яких більша за 20 000 Гц, називають **ультразвуком** (лат. *ultra* – «далі», «більше», «над»).

Ультразвукові коливання (ультразвук) – це коливання, частота яких більша за найвищу частоту звукових коливань, тобто більша від 20 000 Гц.

Ультразвукові коливання застосовують для обробки твердих і надтвердих матеріалів. До оброблюваних деталей подається суміш води з дрібним порошком, яка під дією ультразвукового випромінювача коливається з великою частотою, даючи змогу робити отвори складної форми. Так само отримують зображення на каменях, металах, фарфорі тощо.

Поширюючись у пружному середовищі, ультразвук відбивається від різних перешкод. Ці коливання можна прийняти і зафіксувати. Знаючи час і швидкість їх поширення, можна визначити відстань до перепони. На цьому принципі ґрунтується дія ехолота – прилада для вимірювання глибини озер, морів, океанів або глибини занурення тіл.



Мал. 226

На суднах установлюють ультразвукові випромінювачі, що періодично посилають імпульси в напрямку дна (мал. 226). Відбиті коливання приймаються, і на екрані комп'ютера з'являється рельєф дна. Коли на шляху ультразвуку трапляється, наприклад, косяк риб, він також відображається на екрані.

Для багатьох технічних потреб використовуються суміші рідин, які не змішуються у звичайних умовах (наприклад, ртуть і вода). Але якщо колбу з водою і ртуттю опромінювати впродовж певного часу ультразвуком, то утворюється стійка суміш, яка може зберігатися досить довго. На промислових підприємствах за допомогою ультразвукових коливань змішують воду і мастило.

Учені встановили, що прості живі істоти швидко гинуть під дією ультразвуку. Цю властивість використовують для стерилізації води, молока та інших харчових продуктів. Ультразвуки є причиною паралічу і загибелі холоднокровних тварин – риб, жаб, пуголовків.

У медицині ультразвук використовують з лікувальною (мал. 227, *а*) і діагностичною (мал. 227, *б*) метою.

Мал. 227

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Загибель «Титаніка» у 1912 р. стала поштовхом для французького вченого Поля Ланжевена у винайденні ультразвукового локатора. У природі ж кажани, дельфіни, кити випромінюють ультразвуки в широкому діапазоні. Дельфін чітко відрізняє скелю від косяка риб. У Новій Зеландії, серед численних островів, де важко знайти морський шлях, один з дельфінів виконував обов'язки лоцмана 30 років.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке інфразвук? Як він впливає на організм людини? Де його використовують?
2. Що таке ультразвук? Наведіть приклади застосування ультразвуку.

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Як перевіряють наявність тріщин у колесах вагонів, у скляному або порцеляновому посуді?

Відповідь: постукують (молотком, ложкою або іншим предметом) по колесу, посуду. Якщо чути глухий звук, то це означає, що в них є тріщини.

2. Чому кажани (мал. 228) навіть у повній темряві не налітають на перешкоди?

Відповідь: кажан випромінює ультразвукові хвилі, які відбиваються від перешкоди, і він знає, де вона знаходиться.

Мал. 228

Рівень А

142. Чи будь-яке тіло може бути джерелом звуку?

143. Запишіть назви музичних інструментів за зростанням висоти тону (число в дужках показує кількість коливань за секунду – частоту коливань): скрипка (640 Гц), віолончель (216 Гц), контрабас (196 Гц), альт (415 Гц).

144. Людина може чути звуки від джерел, що роблять не менше як 16 і не більше ніж 20 000 коливань за 1 с. Визначте період цих коливань.

145. За 1 с муха робить 330 помахів крилами, а метелик – 2. Від коливання чиїх крил – мухи чи метелика – чути звук? Який період коливань крил мухи і метелика?

146. Відстань між двома залізничними станціями 16,6 км. За який час поширюється звук від однієї станції до другої повітрям; рейками? Температура повітря 0 °С. Швидкість поширення звуку у сталі 5500 м/с.

147. Чи може людина чути інфразвуки? Чому?

148. Як людина на практиці використовує інфразвук?

149. До яких звуків належать коливання частотою 9 Гц? Який період цих коливань?

150. Ультразвук частотою 1 МГц проник у сталевий виливок на глибину 6 м. Який час був потрібний для цього?

151. Користуючись ехолотом – приладом для визначення глибини моря за допомогою відбивання звуку – визначили, що від подачі звукового сигналу до прийняття відбитого пройшло 3 с. Яка глибина моря, якщо швидкість поширення звуку у воді 1450 м/с?

Рівень Б

152. Виконайте такий дослід: покладіть металеву масштабну лінійку завдовжки 40–50 см одним кінцем на край столу і притисніть її зверху дерев'яним бруском або книжкою. За вільний кінець відтягніть лінійку вниз або вгору і відпустіть. Повторюйте дослід, зменшуючи довжину вільної частини лінійки доти, доки почуєте її гудіння. Коли швидше коливалась лінійка – коли вона була довшою чи коротшою? Коли було чути звук – при меншій кількості коливань чи при більшій? Як називають відстань, на яку найбільше змістився кінець лінійки при коливаннях?

153. Поясніть, як утворюються звуки у скрипці, роялі, трубі, барабані. Як можна змінити характер цих звуків?

154. Чому дзюрчать струмки?

155. Чи почуємо ми вибух, що стався на Місяці?

156. Поясніть, чому люди, які піднялися високо в гори, повинні гучніше говорити, щоб чути одне одного.

157. Для чого люди, які погано чують, прикладають до вуха рупор? Про дефекти якого органу чуття людини йдеться? Згадайте, яка його будова.

158. Хто швидше махає крильцями – джміль чи комар?

159. Чому грім завжди чути після того, як побачимо блискавку? На якій відстані від спостерігача виникла блискавка, якщо звук від неї він почув через 10 с?

160. Скільки часу звук поширюється від стола вчителя до останньої парти?

161. Поясніть, чому погано чути, коли вуха закрито ватою.

162. Для чого стіни і стелю приміщень радіо- і телестудій покривають матеріалами, які добре поглинають звук?

163. Чому в читальних залах бібліотек підлогу завжди застеляють м'якими доріжками?

164. Грім – це звук, що виникає під час блискавки. Чому ми чуємо грім довгий час навіть тоді, коли блискавка триває дуже короткий час?

Мал. 229

165. Цівка води під час наповнення пляшки (мал. 229) спричиняє шум, у якому можна вловити деякий тон. У міру заповнення пляшки тон змінюється. Вищим чи нижчим стає тон? Чому це відбувається?

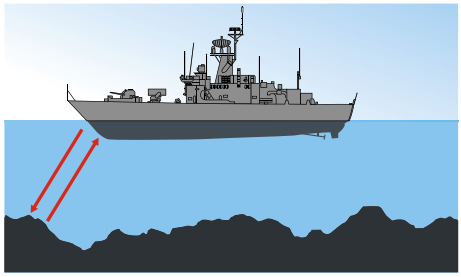
166. Чому шум, що супроводжує рух поїзда, стає особливо оглушливим, коли поїзд входить у тунель?

167. Послухайте, як дзвонить будильник у кімнаті і на вулиці. Поясніть відмінність.

168. Риболовецьке морське судно, що пливе вночі або в туманну погоду поблизу берегів з високими скелями, час від часу дає короткі гудки. Для чого це роблять?

169. Спеціалісти-бджолярі по звуку можуть визначити, чи летять бджоли по мед, чи з медом. Як вони про це дізнаються?

170. Часто рівень заповнення закритих цистерн, баків і бочок визначають по звуку. Чому по-різному прослуховується звук під час ударів у місцях, не заповнених і заповнених рідиною?



Мал. 230

171. Як пояснити, що коти або інші тварини перед землетрусом покидають будівлі, а кити та дельфіни запливають далеко в море?

172. Чому на кораблях установлюють ультразвукові гідролокатори (мал. 230), а не звукові?

§ 20. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ. ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ, ДОВЖИНА І ЧАСТОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ХВИЛІ

Англійський фізик **Джеймс Кларк Максвелл** зробив вагомий внесок у вивчення основних властивостей електромагнітного поля. Він поставив запитання: **якщо змінне магнітне поле породжує електричне, то чи існує у природі зворотний процес, коли змінне електричне поле, у свою чергу, породжує магнітне?**

Максвелл припустив, що такий процес у природі реальний: **у всіх випадках, коли електричне поле змінюється, воно породжує магнітне поле.**

Згідно з гіпотезою Максвелла магнітне поле, наприклад під час розрядки конденсатора (прилад для накопичення електроенергії, мал. 231), не лише створюється струмом у провіднику, але й збуджується електричним полем, яке змінюється у просторі між обкладками конденсатора. Причому змінне електричне поле створює таке магнітне поле, ніби між обкладками існує електричний струм, який дорівнює значенню струму у провіднику.

Мал. 231

Правильність гіпотези Максвелла була доведена відкриттям електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі існують тільки тому, що змінне магнітне поле породжує змінне електричне поле, яке, у свою чергу, породжує магнітне поле.

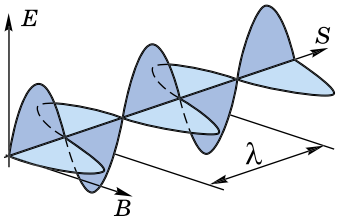
Після відкриття взаємозв'язку між електричним і магнітним полями стало зрозуміло, що ці поля не існують окремо, незалежно одне від одного: не можна створити змінне магнітне поле без того, щоб одночасно у просторі не виникло і змінне електричне поле. І навпаки, змінне електричне поле не може існувати без магнітного.

Електричні й магнітні поля – це прояви єдиного цілого, яке можна назвати **електромагнітним полем.**

Електромагнітне поле – особлива форма матерії. Воно існує реально, тобто незалежно від нас, від наших знань про нього. Його можна виявити тільки за допомогою спеціальних приладів.

Уявіть, що електричний заряд змусили дуже швидко коливатися вздовж деякої прямої так, щоб він рухався подібно до вантажу, підвішеного на пружині, але значно швидше. Тоді електричне поле, яке існує навколо заряду, періодично буде змінюватися.

Змінне електричне поле створює магнітне поле, яке також періодично змінюється, а це друге, у свою чергу, буде причиною появи змінного електричного поля вже на більшій відстані від заряду і т. д.



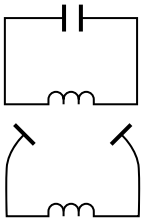
Мал. 232

У просторі навколо заряду, захоплюючи відповідні ділянки, створюється система періодично змінних електричних і магнітних полів, перпендикулярних одне до одного.

На малюнку 232 представлено «миттєвий знімок» такої системи полів. Створюється те, що ми називаємо **електромагнітною хвилею**, яка поширюється в усіх напрямках від коливального заряду.

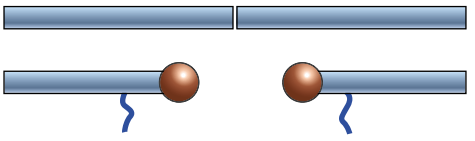
Заряди, які коливаються, випромінюють електромагнітні хвилі. При цьому важливе значення має зміна швидкості руху таких зарядів із часом.

Максвелл був глибоко переконаний, що електромагнітні хвилі існують реально. Лише через 10 років після його смерті електромагнітні хвилі вперше експериментально зафіксував німецький фізик **Генріх Герц**. Він скористався простим пристроєм, який називають **вібратором Герца**. Цей пристрій є відкритим коливальним контуром.


Мал. 233

Схематичний перехід від замкнутого коливального контуру до відкритого показано на малюнку 233. У закритому коливальному контурі потрібно поступово розсовувати пластини конденсатора одночасно, зменшуючи їх площу і кількість витків котушки. Фактично, закритий коливальний контур перетворюється у прямий відрізок провідника.

Для збудження коливань у такому контурі за часів Герца робили так. Провідник розрізали посередині, залишаючи невеликий проміжок, який називають іскровим (мал. 234). Потім обидві частини провідника заряджали доти, доки між ними не проскакувала іскра (мал. 235), коло замикалося і у відкритому контурі виникали коливання.


Мал. 234

Мал. 235

Коливання в контурі затухаючі, оскільки контур має опір і, крім того, енергія витрачається на випромінювання електромагнітних хвиль. Після того як коливання припиняються, джерело знову заряджає обидва провідники до настання пробою іскрового проміжку і процес повторюється.

Щоб отримати незатухаючі коливання у відкритому коливальному контурі, його з'єднують з коливальним контуром спеціального приладу – генератора, який є джерелом незатухаючих коливань.

Герц не лише отримав електромагнітні хвилі, але й установив, що вони є подібними до інших видів хвиль. Зокрема, він спостерігав відбивання електромагнітних хвиль від металевого листа. За допомогою дослідів він установив, що швидкість поширення електромагнітних хвиль дорівнює 300 000 км/с.

Електромагнітні хвилі поширюються у просторі зі швидкістю c, яка дорівнює 300 000 км/с.

Відстань, на яку переміщується електромагнітна хвиля за час, що дорівнює одному періоду коливань, називають **довжиною хвилі**.

Якщо υ – швидкість поширення електромагнітної хвилі в однорідному середовищі (м/с); T – її період (с); ν – частота коливань (Гц); λ – довжина хвилі (м), то $\lambda = \upsilon T$, або $\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}$. Для вакууму $\lambda = cT$, або $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому полягала гіпотеза Максвелла?
2. Хто вперше отримав електромагнітні хвилі? За допомогою чого?
3. З якою швидкістю поширюються електромагнітні хвилі у просторі?

§ 21. ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ. ШКАЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

Електромагнітні хвилі поглинаються, відбиваються і заломлюються, як і всі інші види хвиль. Це легко спостерігати.

Радіотехнічні пристрої дають змогу провести наочні досліди з метою виявлення властивостей електромагнітних хвиль. При цьому найкраще використовувати хвилі сантиметрового діапазону, що їх випромінює спеціальний генератор надвисокої частоти (НВЧ).

Електромагнітні хвилі випромінює рупорна антена в напрямку осі рупора-гучномовця. Приймальна антена, яка має вигляд такого самого рупора, уловлює хвилі, що поширюються вздовж його осі. Загальний вигляд установки показано на малюнку 236.

Рупори розташовують один проти одного і, після увімкнення звуку, розміщують між ними різні діелектричні тіла. При цьому помічають зменшення гучності. Це свідчить про те, що **електромагнітні хвилі поглинаються**.

Мал. 236

Якщо діелектрик замінити металевою пластинкою, то хвилі не досягатимуть приймача внаслідок відбивання. Звуку не буде чути. Відбивання відбувається під кутом, що дорівнює куту падіння, як і у випадку світлових і механічних хвиль. Щоб переконатися в цьому, рупори розміщують під однаковими кутами до металевого листа (мал. 237, *а*). Звук зникає і тоді, коли забрати лист або повернути його.

Електромагнітні хвилі відбиваються.

Електромагнітні хвилі змінюють свій напрямок (заломлюються) на межі діелектрика. Це можна виявити за допомогою великої трикутної призми, яка заповнена парафіном. Рупори встановлюють під кутом один до одного, як і тоді, коли демонстрували відбивання. Металевий лист замінюють призмою (мал. 237, *б*). Забираючи призму або повертаючи її, спостерігають зникнення звуку.

Електромагнітні хвилі заломлюються.

Мал. 237

Електромагнітні хвилі поділяються на кілька видів: радіохвилі, світлові хвилі, рентгенівське і γ-випромінювання (див. табл.). Слід зазначити, що межі між різними видами електромагнітних хвиль досить умовні.

Види електромагнітних хвиль *Таблиця*

Випромінювання	Довжина хвилі, м	Частота, Гц	Джерело випромінювання
Радіохвилі	$10^3 – 10^{-4}$	$3 \cdot 10^5 – 3 \cdot 10^{12}$	Коливальний контур, вібратор Герца, ламповий генератор
Інфрачервоне випромінювання	$5 \cdot 10^{-4} – 8 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{11} – 3{,}7 \cdot 10^{14}$	Лампи, нагріті тіла, лазери, Сонце
Видиме світло	$8 \cdot 10^{-7} – 4 \cdot 10^{-7}$	$3{,}7 \cdot 10^{14} – 7{,}5 \cdot 10^{14}$	Лампи, нагріті тіла, лазери, Сонце
Ультрафіолетове випромінювання	$4 \cdot 10^{-7} – 10^{-9}$	$7{,}5 \cdot 10^{14} – 3 \cdot 10^{17}$	Лампи, нагріті тіла, лазери, Сонце
Рентгенівське випромінювання, радіоактивне випромінювання	$2 \cdot 10^{-9} – 6 \cdot 10^{-12}$ $< 6 \cdot 10^{-12}$	$1{,}5 \cdot 10^{17} – 5 \cdot 10^{19}$ $> 5 \cdot 10^{19}$	Рентгенівські трубки. Космічне випромінювання

Радіохвилі поділяють за довжиною хвилі на довгі (понад 10 км), середні (сотні метрів), короткі (десятки метрів). Усі вони переважно використовуються в радіозв'язку. Ультракороткі радіохвилі поділяють на метрові, дециметрові та міліметрові. Перші використовують у телебаченні, другі і треті – у радіолокації. Діапазон радіохвиль частково перекривається з інфрачервоними променями, які широко застосовують у техніці. У цьому діапазоні працюють лазери.

Ультрафіолетові промені використовують для знезаражування приміщень у лікарнях, стимуляції хімічних реакцій, утворення потрібних генних мутацій тощо. Поверхня Землі захищена від шкідливих складових ультрафіолетових променів Сонця озоновим шаром. Його збереження – це одна з важливих екологічних проблем.

Рентгенівське випромінювання отримують під час гальмування електронів, які прискорюються напругою в десятки кіловольт. На відміну від світлового проміння видимого спектра й ультрафіолетового випромінювання, воно має значно меншу довжину хвиль. Причому що більша енергія електронів, які бомбардують перешкоду, то менша довжина хвилі рентгенівського випромінювання.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яка швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі?
2. Запишіть формулу, що виражає зв'язок швидкості поширення хвилі з довжиною хвилі і частотою.
3. Назвіть властивості електромагнітних хвиль, які ви знаєте.
4. Що дає змогу об'єднати всі види електромагнітного випромінювання в одну шкалу електромагнітних хвиль?

§ 22. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ СУЧАСНИХ БЕЗДРОТОВИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА КОМУНІКАЦІЙ

Життя сучасної людини сьогодні здається неможливим без існування мобільних телефонів, стаціонарних радіотелефонів, Інтернету тощо. Усе це – бездротові засоби персонального зв'язку.

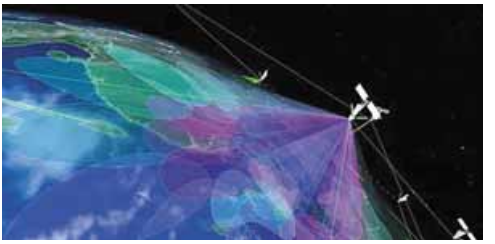
Мобільні телефони стільникового зв'язку фактично є складною мініатюрною приймально-передавальною радіостанцією, яка випромінює електромагнітні хвилі. Максимальна потужність випромінюється стільниковим телефоном під час установлення зв'язку.

Мобільний стільниковий телефон має велику, а іноді й необмежену дальність дії, яку забезпечує стільникова структура зон зв'язку. Крім того, ця станція підключена до звичайної дротової телефонної мережі і оснащена апаратурою перетворення високочастотного сигналу стільникового телефону в низькочастотний сигнал провідного телефону і навпаки, що забезпечується сполученням обох систем. Періодично (з інтервалом 30–60 хв) базова станція випромінює службовий сигнал. Прийнявши його, мобільний телефон автоматично додає та передає отриману кодову комбінацію на базову станцію. У результаті цього здійснюється ідентифікація конкретного стільникового телефону, номера рахунку його власника і прив'язка апарата до певної зони, у якій він перебуває. Коли користувач телефонує, базова станція виділяє йому одну з вільних частот тієї зони, у якій він перебуває, вносить відповідні зміни на його рахунок і передає його виклик за призначенням. Якщо мобільний користувач під час розмови переміщується з однієї зони зв'язку в іншу, базова станція покинутої зони автоматично переводить сигнал на вільну частоту нової зони.

Стаціонарний бездротовий радіотелефон об'єднує в собі звичайний провідний телефон – апарат, підключений до телефонної мережі, і приймально-передавальний радіопристрій у вигляді телефонної трубки, що забезпечує двосторонній обмін сигналами з базовим апаратом. Залежно від типу радіотелефону, дальність зв'язку між трубкою і апаратом, з урахуванням наявності перешкод, складає в середньому до 50 м.

Супутниковий зв'язок і радари. Системи супутникового зв'язку складаються з приймально-передавальної станції на Землі і супутника, що перебуває на орбіті (мал. 238).

Радіолокаційні станції (мал. 239) оснащені, як правило, антенами дзеркального типу і мають вузькоспрямовану діаграму випромінювання у вигляді променя, напрямленого вздовж оптичної осі.



Мал. 238

Мал. 239

Радіолокаційні системи працюють на частотах від 500 МГц до 15 ГГц, однак окремі системи можуть працювати на частотах до 100 ГГц.

Зростання потужності радіолокаторів різного призначення і використання вузькоспрямованих антен кругового огляду приводить до значного збільшення інтенсивності електромагнітних хвиль надзвичайно високочастотного діапазону і дає змогу отримувати на місцевості величезні «зони покриття» з високою густиною потоку енергії.

Починаючи із середини 90-х років XX ст. поширилася технологія **мобільних комп'ютерних мереж**. З 1997 р. з'явилася можливість створювати мобільні мережі Інтернет, що забезпечують взаємодію користувачів незалежно від того, у якій країні вони перебувають.

Розвиток технології мобільних телефонних мереж привів до того, що ці мережі стали широко використовуватися для доступу в Інтернет. Третє покоління мобільних телефонних мереж, відоме як мережі 3G, забезпечує передачу даних зі швидкістю 1,5–2 Мбіт/с. Нині йде активне впровадження мобільних мереж четвертого (4G, наприклад, LTE – *Long Term Evolution* – «довготерміновий розвиток») і п'ятого (5G) поколінь. Вони обіцяють пропускну здатність у десятки разів більшу, ніж у мережах. Для високошвидкісної передачі даних пропонується використовувати міліметровий діапазон радіохвиль із частотою від 30 до 300 ГГц. Теоретично мобільні мережі п'ятого покоління (5G) дадуть змогу передавати інформацію зі швидкістю до 10 Гбіт/с та часом відповіді менше ніж 1 мілісекунда.

Бездротові мережі часто пов'язують з радіосигналами, проте це не завжди правильно. У бездротового зв'язку використовується набагато ширший діапазон електромагнітного спектра, від радіохвиль низької частоти в кілька кілогерц до видимого світла, частота якого становить приблизно $8 \cdot 10^{14}$ Гц.

Навігаційну систему GPS (точніше – NAVSTAR GPS, мал. 240) розробили і вивели на орбіту американські вчені в середині 1990-х років.

Мал. 240

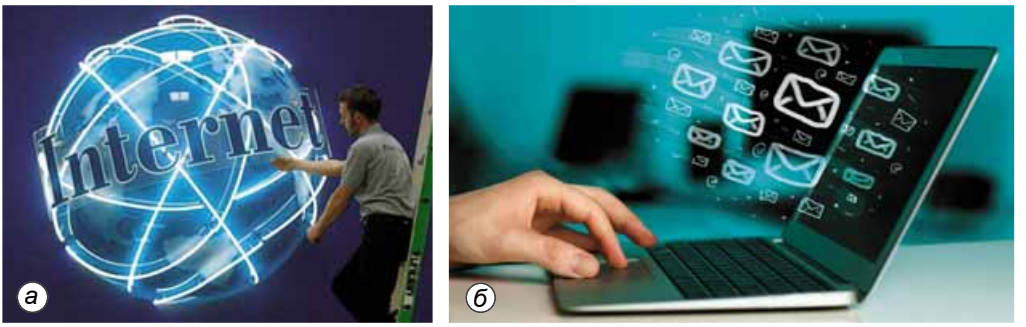
Вона складається з 24 космічних супутників, які рухаються визначеними орбітами навколо Землі. Супутники з висоти 20 тис. км охоплюють кожну точку нашої планети, посилаючи на Землю визначені радіосигнали.

Ці сигнали й уловлюють наземні GPS-навігатори. Навігатор, наприклад, в автомобілі ідентифікує його місцезнаходження та напрямок руху.

Навігатор в авто приймає сигнал від трьох різних супутників, координати яких дізнається, і визначає свої точні координати на координатній сітці, якою умовно розділено всю планету. Часто він використовує також сигнал четвертого супутника для остаточного корегування місцезнаходження.

Інтернет. На сьогодні у світі існує понад 130 мільйонів комп'ютерів і більше 80 % з них об'єднано в різноманітні інформаційно-обчислювальні мережі від малих локальних мереж в офісах до глобальних мереж типу Інтернет. Всесвітня тенденція до об'єднання комп'ютерів у мережі зумовлена важливими причинами, такими як прискорення передачі інформаційних повідомлень, можливість швидкого обміну інформацією між користувачами, одержання і передача повідомлень (e-mail листів тощо), не відходячи від робочого місця, можливість миттєвого одержання інформації з будь-якої точки земної кулі, обміну інформацією між комп'ютерами різних виробників, які працюють з різним програмним забезпеченням.

Інтернет – глобальна комп'ютерна мережа, що охоплює весь світ (мал. 241, *а*). На сьогодні Всесвітнє павутиння має близько 3 мільярдів абонентів у більш ніж 150 країнах світу. Щомісяця розмір мережі збільшується на 7–10 %. Інтернет утворює ніби ядро, яке забезпечує зв'язок різних інформаційних мереж, що належать різним установам в усьому світі.



Мал. 241

Електронна пошта. Електронна пошта (*electronic mail*) – найпоширеніша служба Інтернету, призначена для пересилання комп'ютерними мережами повідомлень (електронних листів, мал. 241, *б*) за кілька секунд. Сьогодні у світі понад 50 мільйонів осіб користуються електронною поштою.

За її допомогою ви можете посилати повідомлення, одержувати їх у свою електронну поштову скриньку, відповідати на листи автоматично, розсилати копії вашого листа відразу на кілька адрес, переправляти отриманий лист за іншою адресою, використовувати замість адрес (числових або доменних імен) логічні імена, створювати кілька підрозділів поштової скриньки для різного роду кореспонденції, включати в листи текстові файли, програми, зображення тощо.

Дошки оголошень. Електронні дошки є цифровим аналогом звичайних дощок оголошень, які розміщуються в загальнодоступних, публічних місцях. Це так звані мережеві новини або дискусійні клуби. Дошки оголо-

шень використовуються для організації ділової діяльності та надання різноманітних послуг користувачам мережі: резервування місць у готелях, на літаках і в потягах, реклами і продажу товарів, пропозиції робочих місць, здійснення електронних платежів. Вони слугують для організації довідкових служб, повідомлення ділових, біржових і політичних новин, новин спорту, огляду кіно- і відеофільмів, передачі прогнозів погоди, участі в колективних або одиночних відеоіграх і т. д. У світі існує величезна кількість комерційних, а також неприбуткових BBS (*Bulletin Board System* – «система дощок оголошень»). Багато з електронних дощок пов'язані між собою. Найбільшою, глобальною мережею електронних дощок оголошень є всесвітня мережа Usenet, доступ до якої є й з Інтернету (мал. 242).

Інтернет-телефонія. IP-телефонія – це технологія, що дає змогу використовувати будь-яку IP-мережу як засіб організації та ведення телефонних розмов, передачі відеозображень та факсів у режимі реального часу. Створення «пакетів» – перетворення аналогових (зокрема, звукових) сигналів у цифрові, їх стискання, передача мережею Інтернет і зворотне перетворення (декодування) в аналогові відбувається завдяки існуванню протоколу передачі даних через Інтернет (IP – Internet Protocol), звідси і назва «IP-телефонія».

Під інтернет-телефонією розуміють, у першу чергу, таку технологію, у якій голосовий трафік частково передається через телефонну мережу загального користування, а частково – через Інтернет (мал. 243). Саме так здійснюються дзвінки з телефона на телефон, з комп'ютера на телефон,

Мал. 242

Мал. 243

з телефона на комп'ютер (тут замість номера телефону використовується IP-адреса), а також набув популярності Surf'n'Call – дзвінок з веб-браузера на телефон (переглядаючи який-небудь корпоративний веб-сайт, користувач натискає мишкою на кнопку *Call* і отримує телефонне з'єднання з офісом цієї компанії).

IP-телефон (окремий апарат або програма на комп'ютері) перетворює ваш голос у потік звукових файлів, які передаються через Інтернет. Якщо ви «дзвоните» на комп'ютер або апаратний IP-телефон, цей потік перетворюється на ваш голос безпосередньо у викликаному вами комп'ютері або апаратному IP-телефоні. Якщо ви «дзвоните» на звичайний дротовий або стільниковий телефон, то тоді на спеціальному вузлі зв'язку потік файлів з Інтернету перетворюється в електричний сигнал, який передається по дротах або через стільникову мережу до викликаного вами абонента, і в його телефоні цей сигнал перетворюється на ваш голос.

Створено мобільний додаток до смартфонів під назвою Viber (Вайбер). Завдяки цьому додатку можна «дзвонити», писати, обмінюватися картинками, фотографіями з телефону, планшета або комп'ютера зі співрозмовником з будь-якої точки світу. Передача голосового трафіку відбувається за допомогою GPRS-інтернету на телефоні.

Wi-Fi (англ. *Wireless Fidelity* – «безпроводова точність»). Ядром бездротової мережі Wi-Fi є так звана точка доступу (Access Point), яка підключається до наземної мережевої інфраструктури (каналів Інтернет-провайдера) та забезпечує передачу радіосигналу. Зазвичай точка доступу складається із приймача, передавача, інтерфейсу для підключення до дротової мережі та програмного забезпечення для налаштування. Навколо точки доступу формується просторова область радіусом 50–100 м (її називають хот-спотом, або зоною Wi-Fi), у межах якої можна користуватися **бездротовою** мережею.

Дальність передавання інформації залежить від потужності передавача, наявності та характеристики перешкод, типу антени. Це бездротовий стандарт, який використовує частоту 5 ГГц.

Для того щоб під'єднатися до точки доступу, потрібно, щоб ноутбук або мобільний пристрій з адаптером Wi-Fi просто потрапив у радіус її дії. Усі дії з визначення пристрою та налаштування мережі більшість операційних систем комп'ютерів і мобільних пристроїв виконують автоматично. Якщо пристрій одночасно потрапляє в зону дії кількох мереж Wi-Fi, то підключення відбудеться до точки доступу, що забезпечує найпотужніший сигнал.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які засоби зв'язку ви знаєте?
2. Який засіб зв'язку, на вашу думку, є найбільш зручним?
3. Яка роль навігатора?
4. Що таке Інтернет?
5. Що ви знаєте про електронну пошту?
6. Що таке дошки оголошень?
7. Що таке IP-телефонія?

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Хвиля – це одне із цікавих понять у фізиці, яке трапляється в найрізноманітніших проявах практично в усіх її галузях. Хвилі поширюються по поверхні океанів і в їх товщі, у міжзоряній порожнечі і у кристалічних ґратках, «біжать» по

проводах ліній електропередач, доносять до нас різноманіття кольорів і велику кількість звуків. Існують хвилі піщані і хвилі на снігу. Землетруси й океанські цунамі – також хвильові рухи, тільки гігантських масштабів. Є хвилі, які ще не стали звичними і для самих фізиків, наприклад, хвилі у транспортних потоках, у хімічних реакціях, у серці та нервовій системі, у співтовариствах біологічних організмів, у зоряних системах – галактиках. За образним висловом учених, хвилі «розбіглися» з фізики і охопили майже всю безліч процесів у живій і неживій природі. І найцікавіше – усі ці хвилі математично подібні, тобто можуть бути описані одними й тими самими рівняннями. Ось чому так важливо «подружитися» із цим поняттям, адже і вам, мабуть, доведеться не раз зіткнутися з ним найнесподіванішим чином.

Лабораторна робота № 6

Дослідження звукових коливань різноманітних джерел звуку за допомогою сучасних цифрових засобів

Мета роботи: навчитися визначати частоту звучання джерела звуку, вимірювати швидкість поширення звуку, дослідити залежність гучності звуку від амплітуди і висоти тону від частоти коливань, залежність гучності звуку і висоти тону від довжини повітряного стовпа.

Прилади і матеріали: смартфон чи планшет із завантаженою програмою Spectrum Analyzer (keuwlsoft, Android, free), дощечка с трьома вбитими цвяхами, гумовий шнур (авіаційна гумка), металева лінійка з міліметровими поділками, найпростіша кулькова ручка без стержня.

Хід роботи

Завдання 1. Виготовте «струнний музичний інструмент».

1. Зв'яжіть гумовий шнур у петлю та розтягніть його між трьома вбитими в дощечку цвяхами.

2. Виміряйте частоту звучання «струни» за допомогою програми Spectrum Analyzer (програму можна завантажити в Play Market або App Store). Для цього прикладіть дощечку до корпуса смартфона біля мікрофона і збудіть коливання «струни». $\nu =$ _____ Гц.

3. Виміряйте довжину «струни». $l =$ _____ м.

4. Врахувавши, що на довжині струни «вміщується» половина довжини хвилі, і те, що швидкість поширення хвилі визначається за формулою $\upsilon = \frac{\lambda}{2}\nu$, обчисліть її значення.

$\upsilon =$ _____ м/с.

5. Зробіть висновки.

Завдання 2. Вивчіть характеристики звуку.

1. Покладіть металеву лінійку на стіл так, щоб вона виступала на 10–12 см, і міцно притисніть рукою до краю стола.

2. Другою рукою відхиліть виступаючий кінець лінійки на невеликий кут і відпустіть, змусивши лінійку коливатися. На слух орієнтовно оцініть висоту тону (частоту коливань) і гучність звуку.

3. Повторіть дії, відхиливши лінійку на більший кут. Як змінилися гучність звуку і висота тону? _____

4. Повторіть дії, змінивши довжину виступаючої частини лінійки. Як змінилася гучність звуку і висота тону? _____

5. Тримаючи відкритий кінець корпуса ручки біля рота, закрийте нижній кінець пальцем і подуйте так, щоб утворився звук. Як залежить гучність звуку від сили, з якою дують?

_____

6. Проведіть аналогічний дослід, тримаючи біля рота ковпачок від ручки. Як залежить висота тону отриманого звуку від довжини повітряного стовпа? _____

7. Зробіть висновки.

Для допитливих

1. Два однакових камертони, що звучать, піднесли до металевої кульки, підвішеної на нитці.

Поясніть відмінності у відхиленні кульки. Порівняйте гучності звуку камертонів. Порівняйте частоти звукових коливань камертонів.

2. Утримуючи гумовий шнур завдовжки приблизно 6 см у двох руках, розтягніть його так, щоб довжина становила приблизно 10 см. Пальцем однієї руки надайте шнуру коливального руху і, змінюючи його довжину, дослідіть зміну гучності звуку та висоти тону.

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Що змінюється: довжина хвилі чи частота під час переходу електромагнітної хвилі з одного середовища в інше?

Відповідь: змінюється довжина хвилі і швидкість, частота залишається сталою.

2. Яка довжина електромагнітної хвилі, якщо коливання в ній відбуваються із частотою $3 \cdot 10^5$ Гц?

Дано:

$\nu = 3 \cdot 10^5$ Гц

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с

$\lambda - ?$

Розв'язання

За формулою $\lambda = \frac{c}{\nu}$ визначимо довжину електромагнітної хвилі:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^5 \text{ Гц}} = 10^3 \text{ м}.$$

Відповідь: $\lambda = 10^3$ м.

Рівень А

173. Що використовують як джерело електромагнітних хвиль?

174. Яке середовище потрібне для поширення електромагнітної хвилі?

175. Як називають відстань, яку проходить електромагнітна хвиля за один період?

176. Де використовують електромагнітні хвилі?

177. Яка довжина електромагнітної хвилі, якщо коливання в ній відбуваються із частотою $3{,}7 \cdot 10^{14}$ Гц?

Рівень Б

178. Які характеристики електромагнітного поля періодично змінюються в рухомій електромагнітній хвилі?

179. Чи можна проводити космічні спостереження в рентгенівських променях з поверхні Землі?

180. Яка властивість рентгенівського випромінювання дає змогу отримати на знімку чітке зображення металевих предметів?

181. З космосу на Землю весь час надходять різні види випромінювання, джерелами якого є окремі зорі та інші космічні об'єкти. Які космічні випромінювання зазнають заломлення, входячи в земну атмосферу?

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Наближаючись до берега, морські хвилі «ростуть», досягаючи іноді висоти десятків метрів. Чому це відбувається?
2. Для захисту портових споруд від морських хвиль акваторію порту захищають суцільною кам'яною стіною-молом. Чому не можна обмежитися встановленням тільки окремих паль, розділених проміжками, які поглинали б енергію морських хвиль?

3. Буває, що біля пологого берега напрямок поширення набігаючих хвиль змінюється. Як можна пояснити це явище?
4. Що таке гучність звуку і висота тону?
5. Розмова людей, які стоять за прочиненими дверима, може бути чутною, але ми їх не бачимо. Чому ж звукові хвилі досягають нас, а світлові – ні?
6. Установіть, чому телеграфні дроти «гудуть» навіть за незначного вітру. За якого напрямку вітру «гудіння» дротів максимальне? Чому? Чи спостерігатиметься це явище в безвітряну погоду?
7. Чому басові струни музичних інструментів обплітають спіраллю з дротини?
8. Що саме коливається в електромагнітній хвилі?
9. Назвіть основні властивості електромагнітних хвиль.
10. Чому метали відбивають і поглинають електромагнітні хвилі?
11. Як обмежити вплив шкідливого електромагнітного випромінювання на людину?
12. Що ви знаєте про шкалу електромагнітних хвиль?

Що я знаю і вмію робити

Я знаю, як пояснити фізичні явища.

1. У круглу посудину з водою (відро, таз, тарілка) кидають маленький предмет, намагаючись потрапити в центр. Як перевірити точність кидка?

2. У якому випадку камертон звучить довше: якщо його тримати в руці чи закріпити на ящику резонатора?

3. Коли дисковою пилкою починають перепилювати дошку, чути високий звук. У міру того як пилка входить у дошку, звук знижується. Чому?

4. Розповідають, що коли Бетховен втратив слух, він, проте, «слухав» гру на роялі, але для цього притискував один кінець тростини до рояля, а другий – стискав зубами. Чи є підстави вірити подібним розповідям?

5. Розгляньте дитячу іграшку «співаюча дзиґа». Поясніть, як під час обертання дзиґи виникає звук. Які з величин, що характеризують звук (висота тону, гучність, тембр), залежать від швидкості обертання дзиґи?

Я вмію виконувати досліди.

6. Коли камертон звучить гучніше: якщо його тримати в руці чи притиснути його ніжку до кришки столу?

7. Постукайте олівцем по порожніх пляшках різного розміру. Які пляшки видають вищий звук? Що це означає? Візьміть кілька однакових пляшок і наповніть їх різною кількістю води. Постукайте по кожній з них олівцем. Коли звук вищий? Який висновок можна зробити з проведених дослідів?

8. У домашніх умовах вивчіть, як впливають на гучність звуку м'які меблі, наявність килимів. Спосіб дослідження запропонуйте самі. Зробіть узагальнювальний висновок.

Я вмію розв'язувати задачі.

9. Визначте швидкість поширення звуку у воді, якщо коливання з періодом 0,005 с створюють хвилю завдовжки 7,175 м.

10. Чому кажанів відловлюють за допомогою білої тканини? Для чого їх відловлюють? Чому кажани можуть заплутатися в темному волоссі людини?

Кажан створює ультразвук, а потім уловлює луну, відбиту від перешкоди. Таким чином, кажан за допомогою звукових хвиль ніби обмацує предмети, що знаходяться перед ним. Частота звуків, що створює кажан, досягає 50 кГц. Яка довжина звукових хвиль, які він випромінює? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти рівною 340 м/с.

11. Чому нерухомі електричні заряди не взаємодіють з магнітними полями, а рухомі – взаємодіють?

12. Генератор УВЧ (ультрависоких частот) працює на частоті 150 мГц. Яка довжина електромагнітної хвилі?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. На великій відстані від берега озера плаває м'яч. Щоб він досяг берега, дитина створює палицею хвилі. Чи припливе м'яч до берега?

А ні **Б** так **В** м'яч відпливе ще далі **Г** правильної відповіді немає

2. З якою швидкістю поширюється хвиля (довжина її сягає 270 м, а період 13,5 с) в океанах?

А 200 м/с **Б** 20 м/с **В** 2 м/с **Г** 0,2 м/с

3. Деревина проводить звук краще, ніж повітря. Чому ж розмова, яка відбувається в сусідній кімнаті, стає тихішою, якщо двері зачинено?

А тому що звукові хвилі поглинаються дверима
Б тому що ми не бачимо тих, хто розмовляє
В тому що відбувається часткове відбивання звуку
Г правильної відповіді немає

4. Визначте швидкість звуку у воді, якщо коливання з періодом 0,005 с створюють хвилю завдовжки 7,175 м.

А 2145 м/с **Б** 1435 м/с **В** 1200 м/с **Г** правильної відповіді немає

5. У якому середовищі можливе поширення електромагнітних хвиль?

А у рідинах **Б** у металах **В** у вакуумі **Г** у будь-якому середовищі

6. Перший гуркіт грому дійшов до спостерігача через 8 с після спалаху блискавки. На якій відстані від спостерігача виникла блискавка?

А 3000 м **Б** 2700 м **В** 2500 м **Г** правильної відповіді немає

7. Який шлях пройде ультразвукова хвиля завдовжки 3 см за 0,001 с, якщо генератор, що випромінює такі хвилі, працює на частоті 1 МГц?

А 25 м **Б** 30 м **В** 28 м **Г** правильної відповіді немає

8. Що таке інфразвук?

А хвилі, що коливаються із частотою, яка менша від 16 Гц
Б хвилі, що коливаються із частотою, яка більша за 16 Гц
В хвилі, що коливаються із частотою 9 Гц
Г правильної відповіді немає

9. Що є джерелом електромагнітної хвилі?

А заряджений конденсатор **Б** заряд, що рухається
В коливальний контур **Г** правильної відповіді немає

10. Визначте довжину електромагнітної хвилі, що випромінюється з лінії електропередачі стандартної частоти (50 Гц).

А 125 м **Б** $7{,}5 \cdot 10^8$ м **В** $3{,}6 \cdot 10^6$ м **Г** правильної відповіді немає

11. У якому середовищі не можуть поширюватися електромагнітні хвилі?

А у діелектрику **Б** у вакуумі **В** у металі **Г** правильної відповіді немає

12. Яка характерна для електромагнітних хвиль величина залишається незмінною під час проходження їх через середовище?

А частота хвилі **Б** довжина хвилі
В швидкість поширення хвилі **Г** усі величини суттєво змінюються

Варіант 2

1. Рибалка в човні нарахував 15 коливань за півхвилини і на око визначив довжину хвилі – 6 м. Скільки часу рухалися ці хвилі від джерела, відстань до якого 840 м?

А 200 с **Б** 140 с **В** 420 с **Г** 280 с

2. Довжина хвилі, яку створює камертон, 40 см. Визначте частоту коливань камертона.

А 640 Гц **Б** 80 Гц **В** 425 Гц **Г** правильної відповіді немає

3. Чи правильно, що гірські обвали на Місяці не супроводжуються звуковими ефектами?

А неправильно, тому що на Місяці є атмосфера
Б правильно, тому що на Місяці немає атмосфери
В на Місяці всі звуки приглушуються
Г на Місяці всі звуки підсилюються

4. Спостерігаючи святковий феєрверк, хлопчик почув звук через 3 с після початку салютування. Визначте швидкість поширення звуку в повітрі, якщо відомо, що хлопчик був на відстані 1 км від місця проведення свята.

А 3000 м/с **Б** 0,003 м/с **В** 333 м/с **Г** правильної відповіді немає

5. Частота коливань ніжок камертона «ля» складає 440 Гц. Визначте період коливань ніжок камертона.

А 0,02 с **Б** 0,005 с **В** 0,002 с **Г** правильної відповіді немає

6. Коли вітер попутний, звук поширюється зі швидкістю 380 м/с, а коли супротивний – 320 м/с. Яка швидкість поширення звуку в тиху погоду?

А 30 м/с **Б** 340 м/с **В** 350 м/с **Г** 330 м/с

7. Для зв'язку між собою дельфіни використовують частоту 10–400 Гц, а для звуколокації – 750–30 000 Гц. Чому?

А більша точність локації, більша енергія
Б більша точність локації, повільно затухаючі звуки
В більша енергія, відсутність відбивання
Г правильної відповіді немає

8. Чому кажани під час польоту навіть у повній темноті не стикаються з перешкодами?

А у них дуже гострий зір **Б** вони мають ультразвукові локатори
В вони швидко літають **Г** у них дуже добрий слух

9. Для обробки твердих матеріалів (германій, кремній, алмаз тощо) застосовують ультразвуковий верстат. Визначте частоту ударів ультразвукової хвилі по абразиву, що руйнує матеріал, якщо період між ударами $5 \cdot 10^{-5}$ с.

А $2 \cdot 10^4$ Гц **Б** $3 \cdot 10^4$ Гц **В** $0{,}2 \cdot 10^4$ Гц **Г** правильної відповіді немає

10. Порівняйте енергію звукової та ультразвукової хвиль, якщо амплітуди коливань у них однакові, а частоти відповідно дорівнюють 10^3 Гц та 10^6 Гц.

А у 10^6 разів **Б** у 10^{12} разів **В** у 10^{-3} разів **Г** у 10^{-6} разів

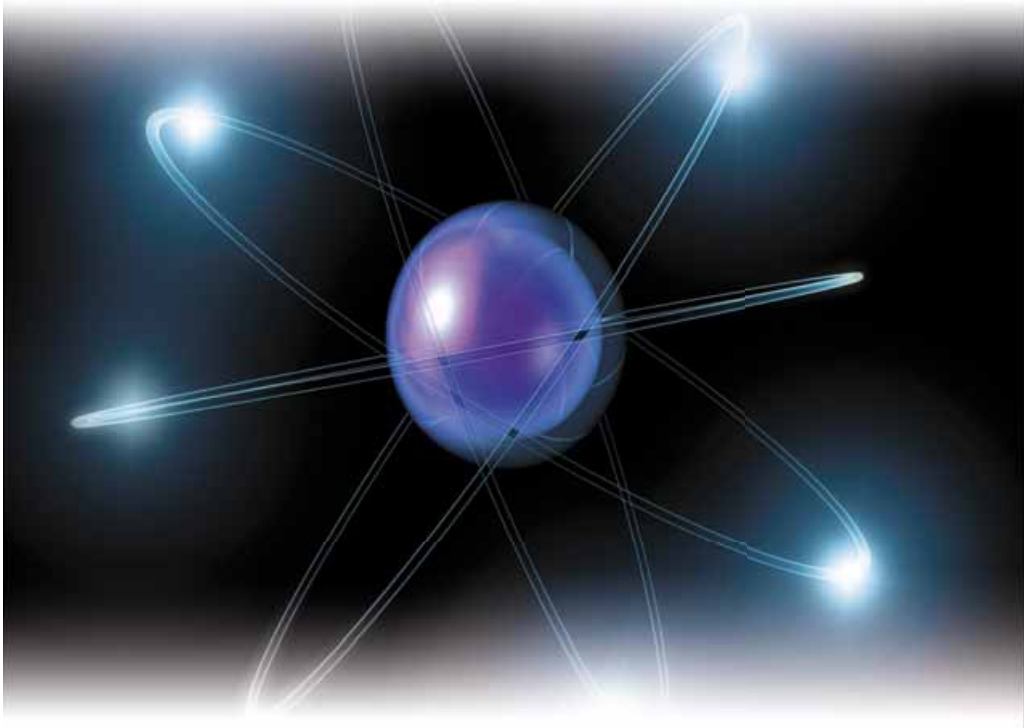
11. У якому середовищі можливе поширення електромагнітних хвиль?

А у діелектрику **Б** у вакуумі **В** у металі **Г** у будь-якому середовищі

12. Для якого з видів електромагнітного випромінювання можливе заломлення на межі поділу двох середовищ вакууму–металу?

А радіохвилі **Б** інфрачервоне
В ультрафіолетове **Г** рентгенівське

Розділ 4
ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

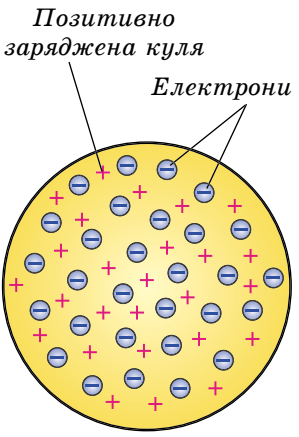


Сучасна модель атома • Досліди Резерфорда • Протонно-нейтронна модель ядра атома • Ядерні сили • Ізотопи • Використання ізотопів • Радіоактивність, її природа і властивості • Йонізаційна дія радіоактивного випромінювання • Природний радіоактивний фон • Дозиметри • Біологічна дія радіоактивного випромінювання • Поділ важких ядер • Ланцюгова ядерна реакція поділу • Ядерна реакція • Атомні електростанції • Атомна енергетика України • Екологічні проблеми атомної енергетики • Термоядерні реакції • Енергія Сонця і зір

§ 23. СУЧАСНА МОДЕЛЬ АТОМА. ДОСЛІДИ РЕЗЕРФОРДА

Усі електричні явища – електризація тіл під час тертя, виникнення електричного струму в металах і напівпровідниках, газах і електролітах – переконливо свідчать про те, що електрично заряджені частинки входять до складу атомів, а отже, і до складу всіх речовин.

Важливу роль у розумінні природи атома відіграв періодичний закон, який відкрив у 1868 р. **Дмитро Менделєєв**, що свідчить про складність атомів елементів. У курсі хімії ви вивчали цей закон: властивості хімічних елементів перебувають у періодичній залежності від заряду їхніх атомних ядер – і широко користувалися цим законом для пояснення властивостей хімічних елементів і хімічних явищ.



Мал. 244

Джозеф Томсон відкрив електрон ще в 1897 р. Виходячи з відомостей про електронейтральність атома, учений створив модель: атом складається з позитивно зарядженої кулі, заряд якої рівномірно розподілено по всьому об'єму, і негативно заряджених електронів, розміщених у цьому об'ємі. Модель була схожа на кекс з родзинками (мал. 244).

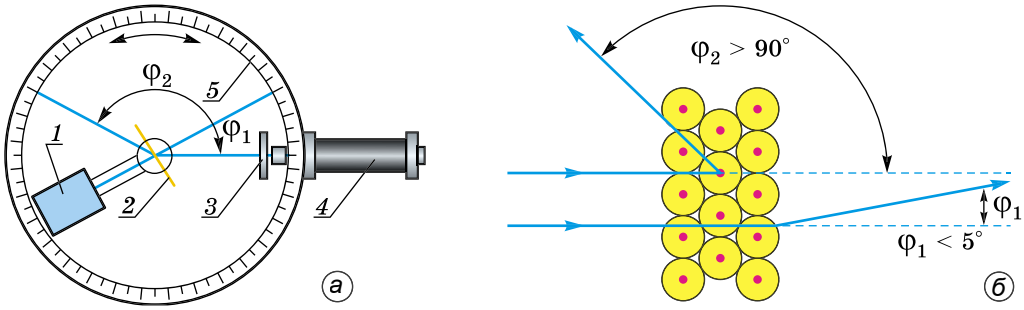
Виходячи з моделі атома Томсона, можна було пояснити явища йонізації атомів, електролізу, періодичну систему елементів, але вона не давала змоги пояснити електромагнітні та оптичні явища, результати досліду Резерфорда і явище радіоактивності, які будуть описані нижче.

Німецький фізик **Філіп Ленард** у 1903 р. запропонував модель «порожнього» атома, усередині якого літають ніким не встановлені (ні раніше, ні тепер) нейтральні частинки, складені із взаємно зрівноважених позитивних і негативних зарядів. Учений назвав ці неіснуючі частинки динамідами.

Розв'язуванням проблеми будови атома займалися видатні вчені світу **Ернест Резерфорд, Ганс Гейгер, Олександр Лебедєв, Нільс Бор** та ін. Особливо важливу роль для з'ясування будови атома відіграли досліди Резерфорда. Він знав, що електрон у 2000 разів легший від атома Гідрогену. Атом є електронейтральним. Отже, саме на позитивний заряд припадає вся його маса.

Якщо перевірити, як розподілено позитивний заряд, то стане зрозуміло, як розподілена маса атома. Учений доходить думки про бомбардування атома α-частинками, які мають масу приблизно у 7300 разів більшу за масу електрона. Їхній позитивний заряд удвічі більший за модулем, ніж заряд електрона (це двічі йонізовані атоми Гелію), швидкість їх руху дорівнює приблизно 15 000 км/с.

Розглянемо експериментальну установку Резерфорда (мал. 245, *а*). На площині *5*, що могла обертатися навколо вертикальної осі, у вакуумі розміщувалися свинцевий контейнер *1* з джерелом α-частинок; у центрі –



Мал. 245

золота фольга *2*; біля краю – нерухомі екран *3* із цинк сульфіду (ZnS) та мікроскоп *4*.

α-частинка – це свого роду «снаряд» атомного світу, який можна спрямувати на шар речовини, щоб дослідити, як вона впливатиме на траєкторію частинки. Суцільні атоми Томсона мали б гальмувати частинки і не пропускати їх далі. Щоб частинка зустріла якнайменше атомів, треба на її шляху поставити якомога тоншу пластинку. Дуже тонку фольгу можна одержати із золота. А ті частинки, які пройдуть крізь фольгу, спричинять сцинциляції (світлові спалахи) на екрані, які будуть зафіксовані оком за допомогою мікроскопа.

Якщо в установці досягнуто повного вакууму і немає фольги, то на екрані виникає світла пляма, утворена світіннями, спричиненими тонким пучком α-частинок. Якщо на шляху α-частинок установити золоту фольгу, то відбуватиметься їх розсіювання і пляма розмиватиметься на більшу площу. Майже всі частинки вільно проходять крізь фольгу і майже не відхиляються від попередньої траєкторії, лише 2–3 % їх розсіюються і відхиляються на кілька градусів від початкового напрямку.

Під час тривалих спостережень учень Резерфорда зрідка помічає спалахи, що відповідають значним відхиленням α-частинок від початкового напрямку руху після проходження крізь фольгу.

У пошуках відповіді на запитання, чому різко відхиляються поодинокі α-частинки, Резерфорд пропонує дослідити, чи є частинки, які, відбиваючись від фольги, розсіюються на кути, більші від 90°, а то й на всі 180°? І такі поодинокі частинки – одна з тисячі – трапляються (мал. 245, *б*). Цей факт здавався незрозумілим.

З'ясуємо, з яких причин α-частинка може змінити напрямок польоту: α-частинка має масу і заряд, тому на неї можуть діяти як сила тяжіння, так і кулонівська сила. Відомо, що електричні сили взаємодії заряджених частинок значно переважають сили тяжіння між ними. Наприклад, електрична сила взаємодії α-частинки з протоном чи електроном у 10^{33} разів перевищує силу тяжіння між α-частинкою і масивним атомом свинцю. Це означає, що у взаємодії α-частинок з атомами фольги гравітаційні сили відіграють мізерну роль і ними можна нехтувати. Отже, відхилення α-частинки від початкового напрямку польоту зумовлюється дією електрично заряджених частинок, які містяться всередині атомів.

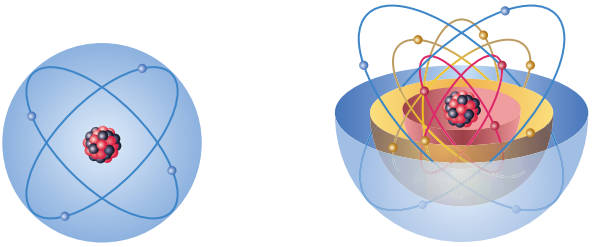
Які ж це частинки? Як вони розміщені в атомах? Відповіді на ці запитання і мали дати досліди Резерфорда. Очевидно, що заряджена частинка, яка відхиляє α-частинку на великий кут, не може бути електроном. Адже маса електрона приблизно в 7300 разів менша за масу α-частинки. Оскільки зіткнення з електронами не змінюють напрямку руху α-частинок, то їхні відхилення на великі кути зумовлені взаємодією не з електронами, а з позитивно зарядженими частинками. Але в «суцільному» атомі за моделлю Томсона електричне поле позитивного заряду недостатньо сильне, щоб відхилити швидку і масивну α-частинку на великий кут.

Результати дослідів Резерфорда свідчать, що хоч атоми у твердому тілі дуже щільно прилягають один до одного, більшість α-частинок пронизує, майже не відхиляючись, кілька тисяч атомів. Звідси учений зробив висновок, що атоми майже порожні і лише в центрі їх є позитивно заряджене ядро розміром порядку 10^{-15} м. З дослідів також випливає, що в ядрі зосереджена майже вся маса атома. Отже, маса позитивно зарядженого ядра, з яким відбувається зіткнення α-частинки, що відхиляється на кут, близький до 180°, значно перевищує масу самої α-частинки (мал. 245, *б*).

Досліди Резерфорда разом зі встановленням ядерної структури атома свідчать ще й про високу «міцність» атомних ядер, які не зазнавали руйнувань навіть під час лобового зіткнення з α-частинками, що налітали на ядра з великою швидкістю.

У травні 1911 р. Резерфорд друкує статтю у «Філософському журналі», у якій розповідає про експерименти, що наштовхнули його на думку про планетарну модель атома.

Згідно із цією моделлю атом складається з позитивно зарядженого масивного ядра, розміри якого порядку 10^{-15} м. Навколо ядра рухаються електрони, утворюючи так звану електронну оболонку атома (мал. 246). Заряд ядра за значенням дорівнює сумарному заряду всіх електронів. У ядрі зосереджена майже вся маса атома (99,95 %).



Мал. 246

Планетарна модель атома добре пояснювала результати дослідів з розсіювання α-частинок речовиною. Виходячи із цієї моделі англійський фізик **Генрі Мозлі** на основі результатів своїх дослідів установив, що заряд атомного ядра $q_я$ дорівнює добутку порядкового номера Z елемента в таблиці Менделєєва на елементарний електричний заряд e:

$$q_я = Ze,$$

де $e = -1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Порядковий номер хімічного елемента Z (зарядове число) визначає кількість протонів у ядрі і тим самим – кількість електронів навколо ядра.

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Ганс Гейгер, колега та учень знаменитого фізика Ернеста Резерфорда, згадуючи якось про важливу подію в історії фізики, що відбулася в перших числах 1911 р., написав у листі до іншого учня свого вчителя – Джеймса Чедвіка: «Одного разу Резерфорд увійшов у мою кімнату в досить гарному настрої і сказав, що він тепер знає, який вигляд має атом...». Резерфорд утвердився у планетарній моделі атома на основі результатів своїх дослідів, але йому було відомо, що сам Ейнштейн двічі доходив думки про планетарну будову атома та не насмілювався цього опублікувати. Ще за 10 років до того японський фізик Хантаро Нагаока без дослідів, а подумки пропонував подібну модель атома.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Розкажіть, які ви знаєте фізичні явища, що свідчать про складну будову атома.
2. Опишіть зміст дослідів Резерфорда з розсіювання α-частинок. Який висновок можна зробити з них?
3. Чому саме α-частинки є інструментом у дослідженні атома?
4. Якими явищами супроводжується зіткнення α-частинок з екраном із цинк сульфіду?
5. Які обмеження мала модель атома Томсона в поясненні фізичних явищ?
6. Опишіть модель будови атома, яку запропонував Резерфорд.
7. Які наукові факти можна добре пояснити на основі планетарної моделі атома?

§ 24. ПРОТОННО-НЕЙТРОННА МОДЕЛЬ ЯДРА АТОМА. ЯДЕРНІ СИЛИ

Вам уже відомо, що ядро атома – це центральна, позитивно заряджена частина атома, у якій сконцентрована майже вся його маса. Заряд цієї серцевини атома дорівнює сумарному заряду електронної оболонки, унаслідок чого атом у цілому є електронейтральним. Лінійні розміри різних ядер неоднакові. Вони знаходяться в межах від $3 \cdot 10^{-15}$ до $10 \cdot 10^{-15}$ м, що в 10^4–10^5 разів менше за поперечний розмір самого атома. Ядерна речовина має надзвичайно велику густину – 10^{14} г/см^3. Чайна ложка, наповнена тільки ядрами, важила б сотні мільйонів тонн.

Упевнившись, що атом не є «неподільним», фізики намагалися встановити «цеглинки», з яких він складається, тобто такі структурні елементи матерії, внутрішня будова яких на цей момент невідома і які назвали елементарними частинками. Електрон – перша з відомих елементарних частинок, структура атомного ядра була ще не встановлена.

У 1913 р. Резерфорд припустив, що ядро атома Гідрогену є елементарною частинкою, яку назвали протоном і яка входить до складу інших атомних ядер. Цю гіпотезу було підтверджено експериментально в 1919 р., коли в дослідах виявили окремі протони.

Маса протона в 1840 разів більша за масу електрона, його електричний заряд за значенням такий самий, як у електрона, але позитивний. У наступного елемента – Гелію – ядро в чотири рази важче за ядро Гідрогену, а в останнього природного елемента Урану – у 238 разів. Масове

число A є найближчим цілим числом до значення відносної атомної маси хімічного елемента, для Урану $A = 238$. Але зарядове число для Урану $Z = 92$, тобто до його складу входять 92 протони і решта маси ядра має припадати ще на якісь частинки.

У 1932 р. англійський фізик **Джеймс Чедвік** на досліді встановив, що невідоме дуже проникне випромінювання, яке спостерігали він та інші вчені, є потоком нейтральних частинок, маса яких близька до маси **протона**. Існування такої частинки ще у 1920 р. передбачав Резерфорд, її назвали **нейтроном**. Того самого року **Дмитро Іваненко** і **Вернер Гейзенберг** запропонували **протонно-нейтронну** модель ядра атома, яку в подальшому підтверджували всі дослідження.

Згідно із цією моделлю ядро атома складається з протонів і нейтронів, яким присвоїли загальну назву **нуклони**. Кількість нейтронів N у ядрі хімічного елемента дорівнює різниці між масовим і зарядовим числами, тобто:

$$N = A - Z.$$

Ядра атомів узагальнено називають **нуклідами**.

Нукліди позначають символом хімічного елемента зі значенням масового числа A зверху і значенням зарядового числа Z внизу ліворуч (${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$). Наприклад, ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ – ядро атома Гідрогену, ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ – ядро атома Гелію (альфа-частинка), ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$ – ядро атома Урану.

Але як утримуються в ядрі одночасно заряджені частинки? Що утримує нуклони в ядрі?

Адже електричні сили відштовхування між позитивно зарядженими протонами в ядрі повинні зумовити їх розлітання в різні боки. Але протони не тільки не розлітаються, а ще й протидіють спробам зруйнувати ядро. Учені з'ясували: щоб розщепити ядро, потрібно надати бомбардуючим частинкам значної енергії.

Сили, які утримують частинки в ядрі, називають *ядерними силами*.

Ядерні сили є **короткодіючими**, на відміну від **далекодіючих** електромагнітних сил і сил тяжіння. Радіус дії ядерних сил приблизно дорівнює 10^{-15} м, тобто розміру нуклонів. На цих відстанях ядерні сили притягування в сотні разів перевищують електричні сили відштовхування між протонами. Про ядерні сили образно кажуть, що це – «богатир з дуже короткими руками».

Ядерні сили є також **зарядово незалежними**, ця властивість виявляється в тому, що протон з протоном взаємодіють так само, як і протон з нейтроном.

Ядерні сили є прикладом так званих **сильних взаємодій**, саме вони зумовлюють те, що для розщеплення ядра потрібна значна енергія, тобто вони є дуже «міцними». Найменше значення енергії, яка забезпечує розщеплення ядра на складові частинки, може бути мірою **енергії зв'язку ядра**, тобто його «міцності». Ядра хімічних елементів мають різну «міцність». Найслабше зв'язані частинки в ядрах легких елементів, що містяться на початку періодичної системи елементів. Енергія зв'яз-

ку швидко зростає зі збільшенням кількості частинок у ядрі, зростає і «міцність» ядер, досягаючи максимуму для Феруму і близьких до нього елементів. Проте оскільки ядерні сили є короткодіючими, то, починаючи з деякого елемента, зв'язок між нуклонами не збільшується, хоч їх кількість у ядрі зростає. Ось чому «міцність» ядер елементів середньої частини періодичної системи елементів майже однакова. В ядрах важких елементів, що стоять у кінці періодичної системи елементів, зростає роль електричних сил відштовхування. Саме ці сили і «розштовхують» усі, навіть найвіддаленіші, протони ядра, роблять їх менш «міцними». Отже, стає зрозумілою поведінка останнього серед природних елементів – Урану, ядра якого є радіоактивними, нестійкими саме через значну роль електричних сил. Решта елементів, що стоять за Ураном, у природі зовсім не трапляються, а створюються штучно.

У ядрі атома зосереджено величезну енергію взаємодії складових частинок, вона в мільйони разів перевищує енергію взаємодії електронів з ядром в атомах, тобто таку, що може виділятися під час хімічних реакцій. Пізніше ви дізнаєтеся, що внаслідок описаних вище властивостей ядер елементів під час ядерних перетворень можна домогтися виділення значної енергії синтезом (злиттям) легких ядер або під час поділу (розщеплення) важких ядер Урану, Плутонію тощо.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яка будова ядра атома?
2. Що таке нуклон?
3. Які сили визначають міцність атомних ядер? Назвіть властивості цих сил.

§ 25. ІЗОТОПИ. ВИКОРИСТАННЯ ІЗОТОПІВ

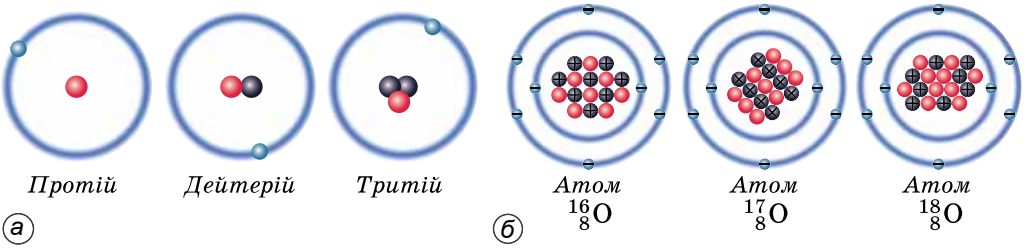
Ізотопи. Таку назву вчені присвоїли атомам, що займають у таблиці Менделєєва одне й те саме місце, але відрізняються між собою атомною масою. Адже в перекладі з грецької *isos* означає «однаковий», а *topos* – «місце».

Ізотопи – це різновиди атомів хімічних елементів, ядра яких містять однакову кількість протонів і неоднакове число нейтронів.

Наприклад, елемент Гідроген має три ізотопи: Протій – ${}_{1}^{1}\mathrm{H}$, Дейтерій – ${}_{1}^{2}\mathrm{H}$ і Тритій – ${}_{1}^{3}\mathrm{H}$ (мал. 247, *а*).

Ядро Протію складається з єдиного протона, Дейтерій має два протони, а Тритій – два нейтрони. Природний елемент Оксиген має три ізотопи: ${}_{8}^{16}\mathrm{O}$, ${}_{8}^{17}\mathrm{O}$, ${}_{8}^{18}\mathrm{O}$ (мал. 247, *б*). Найпоширенішим у природі є ізотоп кисню ${}_{8}^{16}\mathrm{O}$, частка якого становить 99,759 %.

Фізико-хімічні властивості ізотопів майже тотожні, тому що вони визначаються будовою електронної оболонки атомів, а в атомах ізотопів електронна оболонка однакова. Проте, використовуючи деякі відмінності у властивостях ізотопів, учені навчилися відокремлювати один ізотоп від



Мал. 247

іншого, збагачувати хімічний елемент тим або іншим ізотопом. Усі елементи періодичної системи елементів мають ізотопи – стабільні чи радіоактивні, природні чи одержані штучно. Ученим відомий ізотопний склад усіх природних елементів.

Радіоактивні ізотопи широко застосовуються в різних галузях науки, техніки і виробництва. За своїми хімічними властивостями радіоактивний ізотоп нічим не відрізняється від основного ізотопа хімічного елемента. Тому, спостерігаючи за рухом ізотопів, можемо точно дослідити, як поводить себе хімічний елемент у різних процесах.

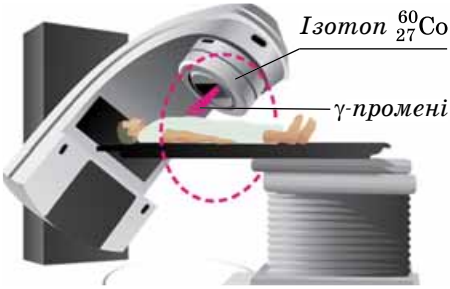
За допомогою ізотопів контролюють металургійні процеси, стежать за станом доменних і мартенівських печей. Так, застосовуючи радіоактивний фосфор, можна швидко дізнатися під час плавлення, чи повністю очистився метал від фосфору – однієї з найшкідливіших домішок. Раніше хімічний аналіз на вміст фосфору тривав близько 30 хв і весь час метал понад норму витримувався в мартенівській печі, знижуючи її продуктивність. За допомогою ізотопів ступінь очищення металу визначають дуже швидко. Для цього треба лише виміряти радіоактивність шлаку, у який перейшов фосфор. Отже, час плавлення значно скорочується. Щоб дізнатися про ступінь зношення домни, у її стінку на певну глибину вміщують невелику кількість радіоактивного ізотопу. Після того як домна почала працювати, проби металу з кожної плавки перевіряють на радіоактивність. Наявність радіоактивних атомів у чавуні є яскравою ознакою зношення домни. Отже, не треба переривати роботу печі з метою перевірки стану стінок домни, достатньо лабораторного контролю.

Добре відомо, як змінюються властивості заліза залежно від вмісту в ньому вуглецю. Адже залізо, сталь і чавун відрізняються лише вмістом останнього. Хімічний метод визначення процентного вмісту вуглецю в залізі довгий і копіткий. Замість нього пробу заліза опромінюють швидкими протонами. При цьому вуглець перетворюється на радіоактивний азот. За радіоактивністю азоту і визначають уміст вуглецю.

Методом радіоактивних ізотопів досліджують також швидкість зношення підшипників. Мідні деталі підшипника опромінюють нейтронами, при цьому атоми Купруму стають радіоактивними.

Під час роботи підшипника внаслідок зношення вкладки частинки міді, а значить і її радіоактивні атоми, переходять у мастило. Вимірюючи радіоактивність мастила, швидко і точно визначають ступінь зношення підшипника. Радіоізотопи, уведені в хімічні сполуки, є могутнім засобом у руках хіміків для вивчення і вдосконалення технологічних процесів на

хімічних заводах, а також для контролю хімічних процесів без зупинки, дистанційно, без втручання в діючий технологічний процес. Такий метод не лише спрощує розв'язання різних технологічних завдань, скорочує потрібний для цього час і кошти. Інколи він є єдиним, за допомогою якого можна встановити оптимальні параметри технологічного процесу, а також розробити досконалу хімічну апаратуру.



Мал. 248

Широко застосовують радіоактивні ізотопи і в сільському господарстві. За допомогою мічених атомів вивчають кругообіг кальцію і фосфору в природі з метою поліпшення умов використання штучних добрив. Додаючи до пилку рослин радіоактивний фосфор, вивчають процес їхнього опилення. Ізотопи дають змогу простежити міграцію шкідників.

Додаючи до їжі ізотопи, учені встановили, що майже всі речовини, які входять до складу нашого тіла, весь час оновлюються. Найшвидше оновлюються жири. Радіоактивні атоми дали змогу визначити час життя білка в різних тканинах і органах, швидкість кровообігу тощо. Вони дають змогу вивчати процеси, що протікають у головному мозку.

За допомогою радіоактивних препаратів можна діагностувати хвороби. Наприклад, за допомогою радіоактивного йоду досліджують функцію щитовидної залози, за допомогою радіофосфору вивчають процес і місце утворення пухлин у мозку. Хвора людина приймає препарат, який концентрується у клітинах пухлин, а їхнє розміщення легко визначити за допомогою реєструючого пристрою. На малюнку 248 показано використання γ-опромінення пацієнта з лікувальною метою. Джерелом γ-променів є ізотоп $^{60}_{27}$Co.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають ізотопами?
2. Де використовують радіоактивні ізотопи?

§ 26. РАДІОАКТИВНІСТЬ, ЇЇ ПРИРОДА І ВЛАСТИВОСТІ. ПЕРІОД ПІВРОЗПАДУ РАДІОНУКЛІДА

Відкриття радіоактивності в 1896 р. стало переворотом у науці. Французький фізик **Анрі Беккерель** досліджував фосфоресценцію (світіння) солей урану. Його цікавило, чи можуть відкриті незадовго до цього Х-промені (рентгенівські промені) випромінюватися тілами, у яких спостерігається явище фосфоресценції під дією сонячного опромінення. Беккерель піддав кристали солей урану сильному сонячному опроміненню і помістив їх на загорнуту в чорний папір фотопластинку. Після проявлення фотопластинки на ній було видно контури зразка. «Очевидно, уранова сіль випромінює якийсь вид променів, які проходять крізь папір і засвічують

Мал. 249

фотопластинку. Цікаво, чи пов'язано це з фосфоресценцією?» – подумав учений.

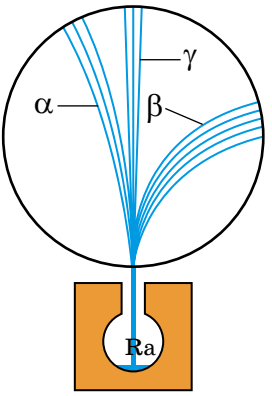
Одного похмурого дня, коли провести черговий дослід не вдалося, учений заховав препарат у шухляду. На загорнутій у чорний папір фотопластинці лежав мідний хрест, а на ньому – препарат з подвійного сульфату калію та урану. Проявивши пластинку, Беккерель несподівано помітив, що на ній утворився чіткий контур хреста. Отже, випромінювання відбувається в темряві і без попереднього освітлення солі урану сонячними променями.

Незвичайним було те, що вони подібно до Х-променів мають надзвичайну проникну здатність.

У 1898 р. **П'єр Кюрі** та **Марія Склодовська-Кюрі** після тривалої і наполегливої праці виділили з уранової руди нові хімічні елементи – **Радій** і **Полоній** (мал. 249), які подібно до Урану спонтанно (самочинно) випускали невидиме проміння, але в кілька тисяч разів інтенсивніше.

У 1899 р. Резерфорд досліджував проходження променів, які відкрив Беккерель, крізь сильне магнітне поле і встановив, що «випромінювання урану є складним і утворюється принаймні з двох різних видів». Він спостерігав, що пучок променів, який виходив із джерела, у магнітному полі розщеплювався: один з його компонентів відхилявся від початкового напрямку в один бік, а інший – у протилежний. Це означало, що промені переносять електричний заряд різних знаків. Той, що переносив позитивний заряд, відхилявся на менший кут і сильно поглинався, він назвав **α-випромінюванням**, а той, що переносив негативний заряд, відхилявся на більший кут і був більш проникним, – **β-випромінюванням**.

Важливою властивістю цього випромінювання виявилася його повна незалежність від зовнішніх умов: освітленості, температури, тиску, електричного й магнітного полів тощо. Властивість самочинно (спонтанно) випускати випромінювання назвали **радіоактивністю**, а речовини, які випускають таке випромінювання, – **радіоактивними**.



Мал. 250

У 1900 р. французький учений **Поль Віяр** показав, що існує і третя складова випромінювання урану з незвичайною проникною здатністю, що не відхиляється в магнітному полі (мал. 250). За аналогією з двома попередніми складовими її було названо третьою літерою грецького алфавіту **γ-випромінюванням**. Резерфорд своїми знаменитими дослідами довів, що α-випромінювання складаються з відносно важких частинок, які виявилися ядрами атомів Гелію.

Електрони, що летять з великою швидкістю, називають **β-частинками**, ядра атомів Гелію – **α-частинками**. **γ-промені** за своєю природою подібні до рентгенівських променів, видимого світла і радіохвиль, але мають значно меншу довжину хвилі і дуже велику проникну здатність.

Характерною ознакою α-частинок є їх дуже велика енергія. Радіоактивні речовини випромінюють α-частинки різної певної енергії. Найчастіше радіоактивна речовина випромінює не одну, а кілька груп α-частинок, кожній з яких притаманне певне значення початкової енергії.

Пролітаючи крізь речовину, α-частинка поступово втрачає енергію, затрачає її на йонізацію молекул речовини і, зрештою, зупиняється. Що більша густина речовини, то меншим є шлях частинок до зупинки. Так, у повітрі за нормального тиску шлях частинки дорівнює кільком сантиметрам. У твердій речовині шлях частинок становить усього кілька десятків мікронів (α-частинки затримуються звичайним аркушем паперу).

β-випромінювання є потоком електронів. На відміну від α-частинок, значення їхньої енергії лежать у межах від нуля до певного максимального значення $E_м$. Максимальна енергія $E_м$ є характерною сталою для даного хімічного елемента.

Унаслідок відносно малої маси β-частинок при проходженні крізь речовину можливе відхилення їх на значний кут – розсіювання в різні боки. Траєкторії β-частинок у речовині дуже покручені. Проте сумарна товщина шару, на яку β-частинка проникає в речовину, у десятки разів перевищує пробіг α-частинок.

Відсутність відхилень в електричному і магнітному полях та величезна проникна здатність γ-променів указували на те, що за своєю природою вони аналогічні до рентгенівських променів.

Проникна здатність γ-променів збільшується зі зменшенням довжини хвилі γ-випромінювання і зменшується зі зростанням густини речовини-поглинача.

Радіоактивність – це явище спонтанного (самочинного) перетворення нестійких ядер одного елемента в ядра іншого елемента, яке супроводжується випромінюванням різних частинок і електромагнітних хвиль.

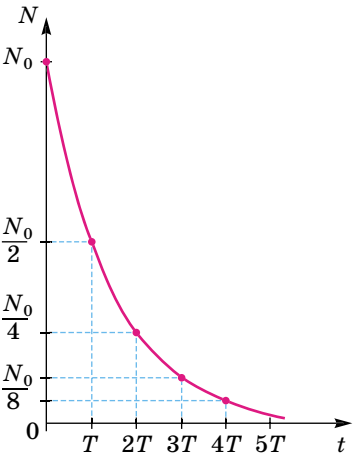
Природа радіоактивних випромінювань указує на те, що їх причиною є самодовільний розпад атомних ядер радіоактивних елементів. При цьому деякі з ядер випускають лише α-частинки, інші – β-частинки. Є радіоактивні ядра, які випускають обидва види частинок. Більшість ядер одночасно випускає і γ-промені тощо.

Досліджуючи перетворення радіоактивних речовин, учені встановили, що інтенсивність випромінювання одних речовин зменшується із часом швидко, інших – набагато повільніше. Для кожної радіоактивної речовини є певний час, протягом якого кількість її атомів зменшується вдвічі. Цей інтервал називають періодом піврозпаду T.

Період піврозпаду – це інтервал часу, за який вихідне число радіоактивних ядер у середньому зменшується вдвічі.

Нехай у початковий момент часу ($t = 0$) кількість радіоактивних атомів дорівнює N_0. Через час, що дорівнює періоду піврозпаду T, значення кількості атомів становитиме, за визначенням, $\frac{N_0}{2}$. Через час, що дорівнює двом періодам піврозпаду, їх буде $\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}$, через n періодів піврозпаду радіоактивних атомів залишиться $N = \frac{N_0}{2^n}$. Оскільки $n = \frac{t}{T}$, то

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}.$$



Мал. 251

Цей вираз називають **законом радіоактивного розпаду**, він установлює залежність кількості радіоактивних атомів речовини від часу розпаду. Його відкрили в 1902 р. Ернест Резерфорд і Фредерік Содді.

Графік цієї залежності показано на малюнку 251.

Період піврозпаду – фізична величина, що характеризує **швидкість радіоактивного розпаду.**

Швидкістю радіоактивного розпаду, або активністю радіоактивної речовини, називають число розпадів, що відбуваються за одиницю часу.

Із закону радіоактивного розпаду випливає, що активність прямо пропорційна кількості ядер, або масі препарату, і обернено пропорційна періоду піврозпаду.

Що менший період піврозпаду, то меншим є час життя атомів, то швидше відбувається розпад. Для різних речовин його значення дуже відрізняються.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що розуміють під радіоактивністю?
2. Яким методом можна розділити радіоактивне випромінювання на складові частини?
3. Поясніть фізичну природу α-, β- і γ-випромінювання.
4. Які перетворення відбуваються в речовині внаслідок радіоактивного випромінювання?
5. Що таке період піврозпаду?

§ 27. ЙОНІЗАЦІЙНА ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПРИРОДНИЙ РАДІОАКТИВНИЙ ФОН

Під час роботи на ядерних установках і з радіоактивними препаратами, які використовуються в різних галузях науки і техніки (дефектоскопія в машинобудуванні, радіоактивні прилади для контролю товщини, рівня рідин, променеві датчики, пристрої для автоматизації виробничих процесів, застосування випромінювань у медицині, добування і переробка уранових руд тощо), людина зазнає зовнішнього радіоактивного опромінення.

Йонізуючим називають випромінювання, яке під час взаємодії з речовиною спричиняє йонізацію складових його атомів і молекул, тобто перетворює нейтральні атоми або молекули на йони.

До різновидів йонізуючого випромінювання, які ви вже знаєте (α-, β- і γ-випромінювання, рентгенівські промені), належать потоки нейтронів, протонів тощо. Коли випромінювання проходить крізь речовину, атоми і молекули, з яких вона складається, йонізуються. Унаслідок збудження молекул у живому організмі їх функції можуть порушитися. У разі йонізації атомів відповідна жива клітина виявляється пошкодженою. Електрони, що входять до складу атомів чи молекул середовища, відриваються від них і можуть переміщуватися по всій речовині. Наприклад, під упливом опромінення збільшується ступінь дисоціації молекул води на йони Гідрогену і гідроксид-йони.

Йони і радикали, що утворюються у тканинах організму під безпосереднім упливом випромінювання, починають взаємодіяти з іншими молекулами. Продукти вторинних реакцій, у свою чергу, реагують з новими молекулами, унаслідок чого склад речовин у тканинах змінюється. Склад різних сполук, що регулюють діяльність організму, змінюється, і залежно від інтенсивності опромінення можуть виникнути так звані променева хвороба, ракові пухлини, лейкемія (білокрів'я) тощо.

Нейтрони безпосередньо йонізації не викликають, але, вступаючи в реакцію з різними тканинами тіла людини, спричиняють появу вторинного йонізуючого випромінювання.

Будь-які зміни в опроміненому об'єкті, спричинені йонізуючим випромінюванням, називають **радіаційно індукованим ефектом**.

Залежно від рівня біологічної організації живої речовини радіобіологи розрізняють такі види біопошкоджень йонізуючим випромінюванням: **молекулярний** – ушкодження молекул ДНК, РНК, ферментів; негативний вплив на процеси обміну; **субклітинний** – ушкодження біомембран і складових елементів клітин; **клітинний** – гальмування і припинення поділу клітин та часткове перетворення їх у злоякісні; **тканинний** – ушкодження найчутливіших тканин і органів (наприклад, червоний кістковий мозок); **організмовий** – помітне скорочення тривалості життя або швидка загибель організму; **популяційний** – зміна генетичних характеристик в окремих індивідів.

Для кількісної характеристики дії йонізуючого випромінювання на навколишнє середовище введено такі фізичні величини та їх одиниці.

Основну фізичну величину, що характеризує радіоактивне джерело, називають активністю A:

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

де N – кількість радіоактивних розпадів; t – час розпаду. У СІ за одиницю активності прийнято один беккерель (1 Бк). Активності 1 беккерель відповідає один розпад за секунду. Історично першою речовиною, на якій вивчали закон радіоактивного розпаду, був радій-226. В одному грамі радію відбувається $3{,}7 \cdot 10^{10}$ розпадів за секунду. Тому в практичній дозиметрії та радіаційній фізиці користуються й іншою одиницею активності – **1 кюрі (1 Кі):**

$$1 \text{ Кі} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

Прийнято вважати, що зміни, які відбуваються в опроміненій речовині, визначаються поглинутою енергією радіоактивного випромінювання.

Поглинутою дозою випромінювання D називають відношення поглинутої дози енергії E до маси m опроміненої речовини:

$$D = \frac{E}{m}.$$

За одиницю поглинутої дози прийнято 1 рад (англ. ***r**adation **a**bsorbed **d**ose* – «поглинута доза випромінювання»).

1 рад – це доза, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія 10^{-2} Дж.

У СІ поглинуту дозу випромінювання визначають у **греях (Гр).**

1 грей дорівнює поглинутій дозі, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж:

$$1 \text{ Гр} = 1 \ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Проте, якщо б навіть удалося здійснити вимірювання поглинутої дози випромінювання безпосередньо в живій тканині, незважаючи на їх складність, цінність цих вимірювань була б невеликою, оскільки однакова енергія різних частинок викликає неоднаковий біологічний ефект. Тому для медичної діагностики використовують здатність рентгенівських променів, що проходять крізь тканини організму, йонізувати також тканиноеквівалентну речовину – повітря. Вимірювання цієї йонізації привело до появи дозиметричної величини – експозиційної дози D_e, як міри йонізаційної дії на повітря.

Експозиційна доза – кількісна характеристика γ- і рентгенівського випромінювань, яка ґрунтується на їх йонізуючій дії і визначається сумарним електричним зарядом йонів одного знака, утворених в одиниці маси повітря:

$$D_e = \frac{q}{m},$$

де q – заряд утворених йонів; m – маса повітря.

Одиницею експозиційної дози є **один кулон на кілограм (1 Кл/кг).** При такій **експозиційній дозі внаслідок йонізаційної дії випромінювання на повітря і м'які тканини в 1 кг сухого повітря за нормальних умов утворюються йони кожного знака, що мають заряд 1 Кл.**

Ця одиниця дала змогу пов'язати поглинуту енергію з йонізаційним і біологічним ефектами. У практичній дозиметрії використовують експозиційну дозу випромінювання – **один рентген (1 Р).**

Один рентген – це така експозиційна доза рентгенівського чи γ-випромінювань, при якій в 1 см^3 сухого повітря ($1{,}29 \cdot 10^{-6}$ кг) при 0 °С і тиску 760 мм рт. ст. утворюються йони, які мають заряд кожного знака, що дорівнює $3{,}34 \cdot 10^{-10}$ Кл.

Експозиційна доза практично зручна, оскільки йонізацію повітря легко виміряти за допомогою **дозиметра**. Можна використовувати зв'язок між позасистемною (Кл/кг) і системною (1 Р) одиницями:

$$1\ \text{Р} = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \text{Кл/кг}; \quad 1\ \text{Кл/кг} = 3{,}88 \cdot 10^{3}\ \text{Р}; \quad 1\ \text{рад} = 1{,}1\ \text{Р}.$$

При дозі 1 Р утворюється приблизно $2{,}08 \cdot 10^9$ пар йонів.

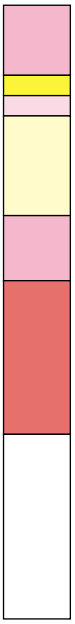
Зазначимо, що в повітрі й м'яких тканинах організму людини однакові експозиційні дози рентгенівського чи γ-випромінювань створюють приблизно однакову кількість йонів у 1 см^3. Тому можна оцінювати поглинання енергії м'якими тканинами не за поглинутою дозою випромінювання (D), а за **еквівалентною дозою $D_{екв}$.**

Еквівалентна доза ($D_{екв}$) – це поглинута доза, помножена на коефіцієнт K, що відображає здатність випромінювання певного типу чинити дію на тканини організму:

$$D_{екв} = KD.$$

Коефіцієнт K називають **відносною біологічною ефективністю (ВБЕ),** або **коефіцієнтом якості.** Для рентгенівського, γ- і β-випромінювань $K = 1$, для теплових нейтронів $K = 5$, для швидких нейтронів і протонів $K = 10$, для α-частинок $K = 20$.

Одиницею еквівалентної дози в СІ є **один зіверт (1 Зв),** на честь шведського радіобіолога **Рольфа Зіверта.** 1 Зв = 1 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ для рентгенівського, α- і β-випромінювань.



Мал. 252

Треба врахувати й те, що різні частини тіла мають різну чутливість до опромінення. Через це дози опромінення органів і тканин потрібно обчислювати з різними **коефіцієнтами радіаційного ризику** (мал. 252).

Помноживши еквівалентні дози на відповідні коефіцієнти радіаційного ризику для всіх органів і тканин та підсумувавши їх, отримаємо значення **ефективної еквівалентної дози**, що відображає сумарний ефект опромінення організму. Ефективна еквівалентна доза введена Міжнародною комісією з радіаційного захисту (МКРЗ). Її одиницею в СІ є також **один зіверт (1 Зв)**.

Підсумувавши індивідуальні ефективні еквівалентні дози, одержані групою людей, визначимо **колективну ефективну еквівалентну дозу**. Її одиницею в СІ є **один людино-зіверт**.

Проте виникає потреба ще в одному визначенні, оскільки багато радіоактивних **нуклідів** (атомів з певними характеристиками) розпадаються досить повільно і надовго залишаються радіоактивними.

Колективну ефективну дозу, що одержать багато поколінь людей від радіоактивного джерела впродовж усього часу його подальшого існування, називають **очікуваною (повною) колективною ефективною еквівалентною дозою**.

Проблема біологічного впливу йонізуючих випромінювань на живі організми й установлення значень безпечних доз опромінення тісно пов'язана з існуванням **природного радіоактивного фону** на поверхні Землі. Справа в тому, що в будь-якому місці на поверхні Землі, під землею, у воді, в атмосферному повітрі й у космічному просторі є йонізуючі випромінювання різних видів і різного походження. Ці випромінювання існували, коли ще не було життя на Землі, є вони й сьогодні, будуть і надалі. В умовах існування природного радіаційного фону на Землі виникло життя, яке пройшло шлях еволюції до свого теперішнього стану. Тому можна з упевненістю сказати, що дози опромінення, близькі до рівня природного фону, не становлять серйозної небезпеки для живих організмів.

Чим же зумовлене існування природного радіаційного фону і яке значення фонової дози опромінення?

У більшості місць на Землі значна частина дози природного фону зумовлена **зовнішнім опроміненням**, створюваним γ-випромінюванням природних радіоактивних ізотопів земної кори – Урану, Торію, Калію та інших елементів. Потужність дози зовнішнього опромінення залежить від типу порід земної кори в даній місцевості, від матеріалів, з яких

споруджено будинки. Найбільшу радіоактивність мають гранітні породи й стіни кам'яних будинків, найменшу – стіни дерев'яних будинків. Доза зовнішнього фонового γ-опромінення коливається в більшості місць від 0,3 до 0,6 мЗв за один рік.

На Землі є місцевості, у яких ґрунти містять велику кількість Урану й Торію, тому рівень зовнішнього γ-опромінення в них може сягати до 8–15 мЗв за рік. Середнє значення еквівалентної дози від зовнішнього фонового γ-опромінення можна прийняти рівним 0,4 мЗв за рік.

Друге джерело опромінення – **космічне випромінювання**. Космічним випромінюванням на поверхню Землі (вторинне космічне випромінювання) називають потік γ-випромінювання й швидких заряджених частинок, що виникають в атмосфері під дією первинного космічного випромінювання, яке складається в основному з протонів, що надходять з космосу. Земну атмосферу можна прирівняти до десятиметрового шару води, яка поглинає більшу частину космічного випромінювання й надійно захищає все живе на Землі від його впливу. На рівні моря доза опромінення дорівнює 0,3 мЗв за рік. З підняттям у верхні шари атмосфери потужність потоку космічного випромінювання зростає. На висоті 3000 м над рівнем моря вона збільшується приблизно втричі.

Крім зовнішнього опромінення, кожний живий організм піддається **внутрішньому опроміненню**. Воно зумовлене тим, що з їжею, водою й повітрям в організм потрапляють різні хімічні елементи, що мають природну радіоактивність: Карбон, Калій, Уран, Торій, Радій, Радон. Кількість цих елементів в організмі людини залежить від їжі, яку вона вживає. У цілому середнє значення еквівалентної дози опромінення, зумовленої природними радіоактивними ізотопами, що потрапляють в організм людини з їжею і водою, дорівнює приблизно 0,3 мЗв за рік.

Значну частину дози внутрішнього опромінення в більшості місць на Землі складає радіоактивний Радон і продукти його розпаду, що потрапляють в організм людини з диханням. Радон постійно утворюється у ґрунті повсюди на Землі. Це інертний газ, тому в ґрунті він не втримується й поступово виходить в атмосферу. Концентрація радону підвищується в закритих непровітрюваних приміщеннях, особливо висока вона в підвальних приміщеннях, у нижніх поверхах будинків, близьких до ґрунту. У більшості будинків питома активність радону й продуктів його розпаду дорівнює близько 50 Бк/м, що приблизно у 25 разів вище за середній рівень питомої активності атмосферного повітря поза будинками.

Середнє значення річної еквівалентної дози опромінення, зумовленої радоном і продуктами його розпаду, дорівнює 1 мЗв. Це приблизно половина середньої річної дози опромінення, яку одержує людина від природних джерел радіації. Отже, **середнє значення еквівалентної дози опромінення, зумовленої природним радіаційним фоном, дорівнює близько 2 мЗв за рік.**

У наш час усі люди на Землі піддаються дії йонізуючої радіації не тільки природного, а й штучного походження. Штучними джерелами радіації, створеними людиною, є рентгенівські діагностичні й терапевтичні установки, засоби автоматичного контролю й керування, що використовують радіоактивні ізотопи, ядерні енергетичні й дослідницькі реактори,

прискорювачі заряджених частинок і різні високовольтні електровакуумні прилади, відходи теплових і атомних електростанцій, продукти ядерних вибухів.

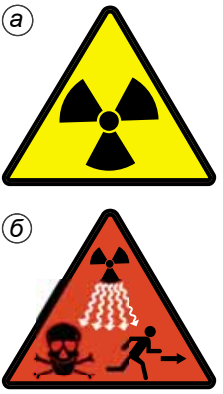
З усіх штучних джерел йонізуючої радіації найбільше впливають на людину джерела рентгенівського випромінювання, які використовуються в медицині. Середня еквівалентна доза, одержувана людиною за рік у промислово розвинених країнах, дорівнює близько 1 мЗв, тобто близько половини дози природного фону.

Радіаційна небезпека під час роботи з радіоактивними джерелами справді існує, і вона надзвичайно підступна, оскільки важкі, часто непоправні патологічні зміни в організмі настають під дією випромінювання без щонайменших суб'єктивних ознак, які сигналізують про небезпеку. Ці зміни нагромаджуються, наростають в організмі й іноді проявляються лише через значний час (десятиріччя) після фактичного опромінення, коли лікувальне втручання виявляється запізнілим. Тому легковажне ставлення до радіації абсолютно неприпустиме.

Зменшити поглинену дозу випромінювання (захист від випромінювання) під час роботи з джерелами йонізуючої радіації можна такими заходами і вимогами.

«Захист відстанню» – зі збільшенням відстані від точкового джерела радіації інтенсивність випромінювання і поглинена доза зменшуються обернено пропорційно квадрату відстані.

«Захист часом» – що менший час перебування в зоні дії випромінювання, то менша поглинена доза.



Мал. 253

Установлення захисних екранів, що поглинають випромінювання. Ступінь екранування залежить від проникної здатності різних типів випромінювання.

Обов'язкове **знання і виконання персоналом правил безпеки** під час роботи в зоні дії випромінювання, а також **поінформованість персоналу і населення** про наявність небезпеки радіоактивного опромінення чи забруднення.

На малюнку 253, *а* показано основний знак радіаційної небезпеки, а на малюнку 253, *б* – уведений у 2007 році додатковий знак радіаційної небезпеки. Зазвичай такими знаками позначають транспортні засоби для перевезення радіоактивних речовин, а також тару для їх зберігання і транспортування, місця зберігання радіоактивних речовин, робочі зони, у яких є радіація, забруднені ділянки території тощо.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Дайте визначення дози випромінювання. Які її одиниці в СІ?
2. Що називають поглинутою дозою?
3. Дайте визначення одного грея.
4. Як пов'язана експозиційна доза із зарядом тіла?
5. Дайте визначення одного зіверта.
6. Чим відрізняється ефективна еквівалентна доза від колективної ефективної еквівалентної дози?
7. Що таке природний радіаційний фон? Як від нього захищаються?

§ 28. ДОЗИМЕТРИ. БІОЛОГІЧНА ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Для контролю за опроміненням використовують дозиметричні прилади. У приміщеннях для роботи з випромінюваннями встановлюють **дозиметри – прилади для вимірювання доз випромінювання в даному місці приміщення**, їх часто забезпечують пристроєм, який автоматично подає звуковий або світловий сигнал, якщо доза випромінювання перевищує допустиме значення. Кожна людина під час роботи з радіоактивними речовинами повинна мати при собі контрольні прилади, що показують дозу, яку вона одержала протягом робочого дня. Із цією метою у спеціальні касети вкладають шматочки фотоплівки і заряджену касету кладуть у кишеню. Наприкінці робочого дня (або тижня) плівки проявляють і за ступенем їх почорніння визначають одержану дозу. Як кишенькові дозиметри використовують також інтегрувальні йонізаційні камери, які за формою нагадують авторучку.

В Україні побутові дозиметричні прилади почали випускати лише після аварії на Чорнобильській АЕС. Дозиметричні прилади поділяють за призначенням на **індикатори** – прості прилади для встановлення наявності випромінювання й приблизної оцінки його інтенсивності («Рось», «СОЕКС» та ін.); **рентгенометри** – призначені для вимірювання дози γ-випромінювання («Стриж-Ц», «ДП» та ін.); **радіометри** – універсальні прилади, що можуть вимірювати дози основних видів випромінювання, активність зразків ґрунту та їжі, радіаційне забруднення поверхонь («ТЕРРА», «СТОРА», «Бета» та ін.).

Зазначимо, що лише радіометри зі свинцевими камерами (наприклад, радіометр «Бета») дають достовірні значення вимірювань. Робота дозиметричних приладів ґрунтується на фізичних методах реєстрації йонізуючого випромінювання.

Мал. 254

На малюнку 254 показано дозиметри різних типів.

Оскільки радіоактивне випромінювання шкідливо впливає на живі клітини, потрібно організовувати захист від нього. Треба мати конкретні відомості про дію радіоактивного випромінювання і радіоактивних опадів на людину і навколишнє середовище. Із цією метою Генеральна Асамблея ООН у грудні 1955 р. заснувала Науковий комітет з дії атомної радіації (НКДАР) для оцінки у світовому масштабі доз опромінення, їх ефекту і пов'язаного з ним ризику.

З урахуванням проведених досліджень установлено гранично допустимі дози опромінення. Для населення будь-якого віку незалежно від місця проживання гранично допустимою дозою опромінення є $D = 0{,}05$ Гр за рік. Доза загального опромінення людини $D = 2$ Гр призводить до променевої хвороби, $D = 6$ Гр і більше майже завжди смертельна.

Для зниження дози опромінення навколо джерел радіоактивного випромінювання розташовують біологічний захист з речовин, що добре поглинають випромінювання. Найпростішим методом захисту є віддалення від джерел випромінювання на достатню відстань. Якщо це неможливо, то для захисту від випромінювання використовують перешкоди з поглинальних матеріалів, оскільки α-частинки мають малі довжини пробігу. β-активні джерела, навіть малих активностей, треба екранувати, наприклад, шаром пластмаси або спеціального скла, що містить свинець.

Для захисту від γ-випромінювання потрібен масивніший захист, як правило, свинцеві контейнери. Роботи з радіаційними відходами проводяться за допомогою маніпуляторів у спеціальних камерах (мал. 255).

Мал. 255

Для захисту від особливо потужних джерел випромінювання (працюючі реактори, прискорювачі тощо) споруджують бетонні стіни відповідної товщини.

Радіоактивні речовини можуть потрапити в організм під час вдихання повітря, забрудненого радіоактивними елементами, із забрудненими харчовими продуктами або водою, крізь шкіру. Ймовірність потрапляння твердих частинок у дихальні органи залежить від їх розмірів. Частинки розмірами понад 5 мкм майже всі затримуються в носовій порожнині.

Якщо радіонукліди, що потрапляють в організм, однотипні з елементами, які вживає людина з їжею, то вони поділяються на такі, що засвоюються організмом, тобто стають його частиною, і такі, що довго не затримуються в організмі й виводяться природним шляхом.

Деякі радіоактивні речовини, потрапляючи в організм, розподіляються в ньому більш-менш рівномірно, інші – концентруються в певних внутрішніх органах. Елементи, хімічно зв'язані з тканинами організму, дуже повільно видаляються з нього.

Щоб деякою мірою захистити організм від радіації, застосовують речовини-оксиданти, що належать до **радіопротекторів** (захисників), але їх потрібно вживати до опромінення. Організація постійного медичного контролю за населенням, додержання гігієни місць проживання та особистої гігієни значно сприяють можливості роботи та проживання без ризику для здоров'я людини.

Біологічну дію радіаційного випромінювання на організм людини можна оцінити за наслідками випробувань атомної зброї в атмосфері, а також радіаційних катастроф, що їх зазнало людство. Першою катастрофою став вибух двох атомних бомб над містами Хіросіма й Нагасакі в 1945 р. У Японії тих людей, які постраждали від атомних вибухів, називають *хібакуся*. Однією з катастроф став вибух 4-го енергетичного блока на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 року.

Аналіз наслідків цих катастроф показав, що радіаційне випромінювання впливає на функції, які супроводжуються активним поділом клітин. Пошкоджуються також імунна, кровотворна системи, епітелії кишкового тракту, бронхів, легенів.

У Японії спочатку спостерігалося різке зростання захворюваності на лейкемію, рак шлунка, молочної залози. Такі захворювання спостерігалися й у пожежників і ліквідаторів аварії на ЧАЕС. У 1986 р. найхарактернішим наслідком аварії був рак щитоподібної залози (понад 600 надфонових захворювань).

У Японії через 25–30 років після бомбардування почала збільшуватися кількість серцево-судинних захворювань. Це явище спостерігається також і в Україні. У хібакуся середня тривалість життя становить 82–83 роки, тобто вони є довгожителями, незважаючи на радіаційне опромінення.

Період піврозпаду Йоду-131 становить 8,04 доби. Через 8 днів після аварії на ЧАЕС залишилася половина від його попередньої кількості, ще через 8 днів – 1/4, потім – 1/8, 1/16 і т. д. Тобто за 2 місяці активність йоду знизилася майже до нуля. Його ж біологічна дія на організм людини виявилася лише через 3 роки.

Унаслідок ядерного перетворення виник радіоактивний цезій. Він має більший період піврозпаду, ніж йод, тому потужність випромінювання є меншою.

Особливо небезпечні для людини і тварин ізотопи Стронцію і Цезію. Хімічні властивості Sr-90 і Cs-137 подібні до властивостей відповідно кальцію і калію, що входять до складу кісток та м'язів людини і тварин. Уміст калію у масі м'язів становить 0,3 %, а кальцію – 14,7 % від маси кісток.

Якщо людина споживає забруднені цезієм і стронцієм харчові продукти, а в її раціоні бракує калію (багаті на калій – квасоля, горох, боби, картопля, помідори, шпинат, абрикоси, ізюм, яблука) або кальцію (багаті на кальцій – капуста, горіхи, горох, сир, яйця, риба, морква, вівсяна крупа), то в організмі людини атоми Цезію в м'язах заміняють атоми Калію, а атоми Стронцію – у кістках заміняють атоми Кальцію.

Період піврозпаду Sr-90 становить 28 років, а період, протягом якого з організму людини вивільняється половина Стронцію, становить 50 років (фізіологічний період напіввиведення ізотопу з організму). Практично стронцій, що потрапив у кістки людини чи тварин, з них уже не вивільняється. До випробувань ядерної зброї в організмі людини цезію не виявляли.

Про віддалені наслідки дії радіоактивного випромінювання в малих дозах на живі організми можна зробити певні висновки, спостерігаючи за рослинами. Відхилення в розвитку рослин стають помітними через

кілька поколінь після їх опромінення. Дослідники брали пшеницю, що виросла поблизу реактора. У перший рік висіву не відбувалося жодних змін. Чорнобильські «гени» проявилися, починаючи з третього покоління. З кожним висівом кількість мутантів зростає.

Отже, радіоактивне випромінювання може уражати людський організм трьома способами: 1) **зовнішньою дією** – ураження високою дозою радіації великої кількості клітин організму. У цьому разі тяжкі пошкодження живої тканини й ознаки променевої хвороби виявляються протягом кількох днів. Якщо організм зазнав надто великих уражень, то людина помирає. Ступінь хвороби залежить від рівня радіації та спроможності організму протидіяти радіації; 2) **внутрішньою дією** – через органи травлення, якщо туди потрапляють радіоактивно «забруднені» їжа і вода. Ураження має тривалий характер і настає внаслідок пошкодження окремої клітини. Пошкоджена клітина може вижити і залишатися в «сонному» стані багато років, однак ця клітина цілковито змінена. І згодом починають розвиватися генетичні мутації, що призводять до тяжких хвороб; 3) **внутрішньою дією** через легені, якщо людина вдихає радіоактивний пил.

У результаті дії йонізуючого випромінювання в організмі людини відбуваються складні фізичні, хімічні та біологічні процеси, які призводять до змін у функціональній діяльності різних органів та систем організму в цілому. Уплив різних доз опромінення на організм людини представлено в таблиці.

Дози опромінення	Причина та наслідки впливу
$(0{,}7–2{,}0) \cdot 10^{-3}$ Гр	Доза від природних джерел за рік
$5 \cdot 10^{-3}$ Гр	Допустиме опромінення населення в нормальних умовах за рік
0,03 Гр	Опромінення під час рентгенографії зубів
0,05 Гр	Допустиме опромінення персоналу АЕС у нормальних умовах за рік
0,1 Гр	Рівень подвоєння ймовірності генних мутацій
0,25 Гр	Однократна доза виправданого ризику за надзвичайних обставин
0,3 Гр	Опромінення під час рентгеноскопії шлунка (місцеве)
0,75 Гр	Короткочасні незначні зміни складу крові, порушення функції нервової системи
1,0 Гр	Доза виникнення гострої променевої хвороби
3–5 Гр	Без лікування 50 % опромінених помирає протягом 1–2 місяців унаслідок порушення діяльності клітин мозку
10–50 Гр	Смерть настає через 1–2 тижні внаслідок внутрішньої кровотечі, головним чином шлунково-кишкового тракту
100 Гр	Смерть настає через кілька годин або днів унаслідок ушкодження центральної нервової системи

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які типи дозиметрів ви знаєте?
2. Розкажіть, як радіаційне випромінювання впливає на організм людини.
3. Про які радіаційні катастрофи ви знаєте? Коли вони відбулися?
4. Поясніть, чим небезпечні стронцій і цезій.
5. У чому полягає дія радіоактивного випромінювання на живий організм?

§ 29. ПОДІЛ ВАЖКИХ ЯДЕР. ЛАНЦЮГОВА ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ ПОДІЛУ. ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ

Процеси, під час яких одні ядра переходять в інші, називають **ядерними перетвореннями.** Ядерні перетворення поділяють на **радіоактивність (радіоактивний розпад)** і **ядерні реакції.**

Під час **радіоактивного розпаду** одне ядро (його називають **материнським)** перетворюється в одне або два **дочірніх** унаслідок самочинного випускання елементарних частинок, ядер і електромагнітного випромінювання.

Ядерні реакції відбуваються тоді, коли внаслідок зіткнень частинки впритул наближаються до ядра і потрапляють у сферу дії ядерних сил, що і спричиняє зміну ядер.

Ядерні перетворення зазвичай записують подібно до хімічних реакцій: ліворуч записують частинки і ядра, що вступають у взаємодію, а праворуч – продукти реакції, тобто нові частинки, ядра й електромагнітне випромінювання. Ви вже знаєте, що нукліди позначають символом ${}^{A}_{Z}X$. Елементарні частинки позначають так: e^- (${}^{0}_{-1}e$ або β^-) – електрон, p (або ${}^{1}_{1}H$) – протон, n – нейтрон, γ – електромагнітне випромінювання (світло, рентгенівські промені або γ-випромінювання). α-частинку позначають або літерою α, або символом ${}^{4}_{2}He$ (ядро Гелію).

Ви знаєте, що явище **радіоактивності** відкрив Беккерель під час дослідів із солями Урану. При цьому відбувався α-розпад ядер ${}^{238}_{92}U$, який супроводжувався утворенням ядер ізотопу Торію ${}^{234}_{90}Th$ з випусканням α-частинок і γ-випромінювання:

$$ {}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He + \gamma. $$

Перетворення ядер відбувається за так званим **правилом зміщення,** яке вперше сформулював англійський хімік **Содді. Під час α-розпаду ядро втрачає позитивний заряд 2*e*, а маса зменшується приблизно на 4 атомні одиниці маси.** У результаті елемент зміщується на дві клітинки до початку періодичної системи елементів:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He. $$

Під час β-розпаду ядро набуває додаткового позитивного заряду *e*, і елемент зміщується на одну клітинку ближче до кінця періодичної системи:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e. $$

Наприклад, під час β-розпаду ізотопу Калію $^{40}_{19}\mathrm{K}$ продуктом розпаду є ядро ізотопу Кальцію $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$, що спрощено можна записати так:

$$^{40}_{19}\mathrm{K} \rightarrow {}^{40}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{0}_{-1}e.$$

γ-випромінювання не супроводжується зміною заряду, маса ядра змінюється надзвичайно мало.

Зміну атомних ядер у результаті їх взаємодії з елементарними частинками або між собою називають *ядерними реакціями*.

Для здійснення ядерної реакції частинки треба наблизити до ядра впритул (на відстань близько 10^{-15} м). Якщо реакція відбувається під дією позитивно зарядженої частинки, треба, щоб вона мала кінетичну енергію, достатню для подолання дії сил електричного відштовхування. Таку енергію надають протонам, α-частинкам та іншим важчим ядрам за допомогою прискорювачів елементарних частинок та йонів.

Знаємо, що одиницею енергії є один джоуль, але це завелика одиниця для запису значень енергій, характерних для елементарних ядерних процесів. Для цього зазвичай застосовують **один електрон-вольт (1 еВ), один кілоелектрон-вольт (1 кеВ)** і **один мегаелектрон-вольт (1 МеВ)**. Один електрон-вольт дорівнює кінетичній енергії, яку набуває електрон, що рухається в електричному полі при напрузі один вольт.

$$1\ \text{еВ} = eU = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл} \cdot 1\ \text{В} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Дж}.$$
$$1\ \text{кеВ} = 10^{3}\ \text{еВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-16}\ \text{Дж}.$$
$$1\ \text{МеВ} = 10^{6}\ \text{еВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ \text{Дж}.$$

Історично першою ядерною реакцією, яку здійснила людина, була реакція перетворення ядра Нітрогену в ядро Оксигену, яка відбувалася в дослідах Резерфорда в 1919 році:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}.$$

Для здійснення ядерних реакцій прискорені частинки ефективніші, ніж α-частинки, що їх випромінюють природні радіоактивні елементи. По-перше, їм можна надати значно більшої енергії (порядку 10^5 МеВ), порівняно з α-частинками з енергією 9 МеВ. По-друге, можна використати протони, які у процесі радіоактивного розпаду не з'являються (це доцільно, тому що їхній заряд удвічі менший від заряду α-частинок, унаслідок чого сила, що діє на протони з боку ядер, теж удвічі менша). По-третє, можна прискорювати ядра важчі, ніж ядра Гелію.

Перше перетворення атомних ядер за допомогою протонів великої енергії, добутих на прискорювачі, здійснено в 1932 р., коли вдалося розщепити Літій на дві α-частинки:

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

Відкриття нейтрона було поворотним пунктом у дослідженні ядерних реакцій. Оскільки нейтрони не мають заряду, то вони без перешкод

проникають в атомні ядра і спричинюють їх перетворення. Наприклад, спостерігається така реакція:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{24}_{11}\mathrm{Na} + ^{4}_{2}\mathrm{He}.$$

Великий італійський фізик **Енріко Фермі**, який першим почав вивчати реакції, спричинювані нейтронами, виявив, що ядерні перетворення зумовлюються навіть повільними нейтронами. Причому ці повільні нейтрони здебільшого навіть ефективніші, ніж швидкі. Тому швидкі нейтрони доцільно спочатку сповільнювати. Сповільнюються нейтрони до теплових швидкостей за допомогою **речовин-сповільнювачів**, одною з яких може бути і звичайна вода. Цей ефект пояснюється тим, що у воді є багато ядер Гідрогену – протонів, маса яких майже дорівнює масі нейтронів. А під час зіткнення куль однакової маси найінтенсивніше передається кінетична енергія. Під час центрального зіткнення нейтрона з протоном, що перебуває у стані спокою, він повністю передає протону свою кінетичну енергію, тобто реально сповільнюється до швидкостей теплового руху.

Подібно до хімічних реакцій деякі ядерні реакції проходять з виділенням енергії, а деякі – з поглинанням (відповідно **екзотермічні** і **ендотермічні** реакції).

Поділ атомних ядер – це особливий вид ядерних реакцій, коли ядро важкого елемента ділиться на дві частини, одночасно випромінюючи два-три нейтрони, γ-випромінювання і значну кількість енергії.

Поділ ядер Урану відкрили в 1938 р. німецькі вчені **Отто Ган** і **Фріц Штрасман**. Їм удалося встановити, що під час бомбардування нейтронами ядер ізотопу Урану $^{238}_{92}\mathrm{U}$ виникають елементи середньої частини періодичної системи: Барій $^{144}_{56}\mathrm{Ba}$, Криптон $^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ і кілька нейтронів:

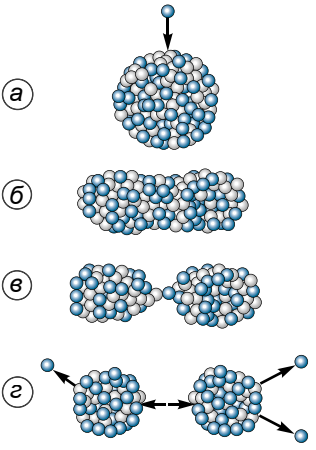
$$^{238}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow ^{144}_{56}\mathrm{Ba} + ^{89}_{36}\mathrm{Kr} + 3\,^{1}_{0}\mathrm{n}.$$

Але правильне тлумачення цього факту, саме як поділу ядра Урану, що захопило нейтрон, у 1939 р. дали фізики – англієць **Отто Фріш** і австрійка **Ліза Мейтнер**.

Безпосередні вимірювання енергії, яка виділяється під час поділу ядра Урану $^{235}_{92}\mathrm{U}$, підтвердили наведені міркування і дали значення ≈ 200 МеВ.

Більша частина цієї енергії (168 МеВ) припадає на кінетичну енергію ядер-осколків. Енергія, яка виділяється під час поділу ядер, електростатичного, а не ядерного походження. Ядерні сили між нуклонами короткодіючі, подібно до сил, що діють між молекулами рідини. Одночасно з великими силами електростатичного відштовхування між протонами, які намагаються розірвати ядро на частини, діють ще більші ядерні сили притягання. Ці сили не дають ядру розпастися.

Ядро Урану-235 має форму кулі (мал. 256, *а*). Захопивши зайвий нейтрон, ядро збуджується і починає деформуватися, набуваючи витягнутої форми (мал. 256, *б*). Ядро розтягується доти, доки сили відштовхування між кінцями витягнутого ядра не переважатимуть сили зчеплення, які діють на перешийок (мал. 256, *в*). Розтягуючись дедалі дужче, ядро розривається на дві частини (мал. 256, *г*).

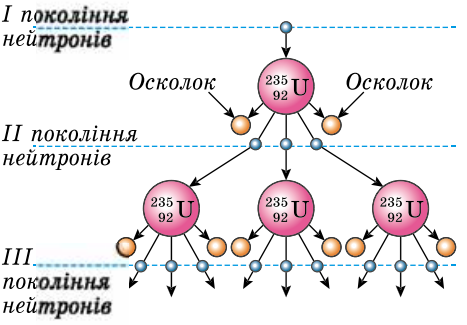


Мал. 256

Під дією електричних сил відштовхування ці уламки чи осколки розлітаються зі швидкістю, що дорівнює 1/30 швидкості поширення світла.

Фундаментальним фактом ядерного поділу є випромінювання в цьому процесі двох-трьох нейтронів. Саме завдяки цьому стало можливим практичне використання внутрішньоядерної енергії. Зрозуміти, чому виділяються вільні нейтрони, можна, виходячи з таких міркувань. Відомо, що відносна кількість нейтронів у стабільних ядрах зростає зі збільшенням атомного номера. Тому в осколках, які утворюються під час поділу, відношення кількості нейтронів до кількості протонів більше, ніж це допустимо для ядер атомів, що містяться в середині періодичної системи елементів. Через це кілька нейтронів вивільняється у процесі поділу. Їхня енергія має різні значення – від кількох мегаелектрон-вольтів до зовсім малих, близьких до нуля. Це дає змогу здійснити **ланцюгову реакцію поділу урану.**

Ядерні ланцюгові реакції – це ядерні реакції, під час яких частинки, що їх спричинюють, утворюються як продукти цих реакцій.



Мал. 257

Будь-який з нейтронів, що вилітає з ядра у процесі поділу, може у свою чергу спричинити розпад сусіднього ядра, яке також виділяє нейтрони, здатні спричинити поділ. Тому кількість ядер, що діляться, швидко збільшується і виникає **самопідтримна** ланцюгова реакція, схему якої подано на малюнку 257.

Ланцюгова реакція супроводжується виділенням величезної енергії. Від поділу кожного ядра виділяється близько 200 МеВ енергії. Від повного поділу всіх ядер 1 г урану виділяється $2{,}3 \cdot 10^4$ кВт · год енергії, яка еквівалентна енергії, що утворюється від спалювання 3 т вугілля або 2,5 т нафти.

Ланцюгова реакція практично здійсненна лише на трьох ізотопах.

Один з них – $^{235}_{92}$U присутній у природному урані, а два інших – $^{233}_{92}$U і Плутоній $^{239}_{94}$Pu – одержують штучно.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які ядерні перетворення ви знаєте?
2. Що таке ядерна реакція?
3. Які реакції називають ланцюговими?

§ 30. АТОМНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ. АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Ви вже знаєте, що ланцюгова реакція супроводжується виділенням величезної кількості енергії. Із часом постало питання, як цю енергією можна «приборкати» і практично використати.

Після проведення дослідів Резерфорд вважав, що його роботи – це витончена теорія і людство ніколи не використає енергію, яка «дрімає» в атомі. Але після того, як у 1938 р. **Фредерік Жоліо-Кюрі** відкрив ланцюгову реакцію, стало зрозумілим, що енергія атома – це величезне джерело енергії, яке може бути використане на благо людства, а може призвести й до трагічних наслідків.

З 1940 р. в Америці та Англії повністю припинилися публікації з атомної фізики і стали державною таємницею. Контроль над атомною енергією перейшов до військово-політичних сил.

У липні 1945 р. у Лос-Аламосі (США) створено атомні бомби, які 6 і 9 серпня було скинуто на японські міста Хіросіму і Нагасакі. Енергія атома була використана для знищення людей і навколишнього середовища. Таким чином, саме в ядерній зброї було використано некеровану ланцюгову реакцію поділу урану.

Уперше керовану ланцюгову ядерну реакцію поділу урану здійснив у США колектив учених під керівництвом **Енріко Фермі** у грудні 1942 року.

У січні 1947 р. **Ігор Курчатов** здійснив першу на Європейському континенті керовану ланцюгову реакцію поділу урану. Він був переконаний, що людям слугуватиме мирний атом. У 1955 р. у Женеві відбулася перша міжнародна конференція з питань мирного використання атомної енергії.

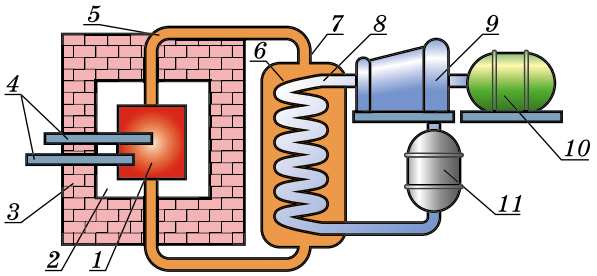
Науково-технічний прогрес визначається розвитком енергетики країни. Енергетика – найважливіша галузь народного господарства, яка охоплює енергетичні ресурси, вироблення, перетворення, передачу та використання різноманітних видів енергії. Це – основа економіки країни.

Ядерною енергетикою **називають здійснюване у промислових масштабах перетворення ядерної енергії в інші види (механічну, електричну тощо), які використовують потім для виробничих і побутових потреб.**

Перетворення ядерної енергії в електричну відбувається на **атомних електростанціях (АЕС)**, які принципово відрізняються від звичайних теплових електростанцій тільки тим, що джерелом теплової енергії для одержання водяної пари, яка приводить у дію турбіну і електрогенератор, є не органічне паливо, а енергія, що виділяється в **ядерному реакторі** під час керованої ланцюгової ядерної реакції (мал. 258).

Ядерний реактор – це пристрій, у якому відбувається керована ланцюгова реакція, що супроводжується виділенням енергії.

Використовувати ядерну енергію для перетворення її в електричну почали в 1954 р. в м. Обнінську на першій атомній електростанції потужніс-



Мал. 258

тю 5000 кВт. Історично першим було реалізовано **реактор на повільних (теплових) нейтронах**.

Головною частиною реактора є **активна зона** *1*, яка складається з таких компонентів: **ядерне паливо**, **сповільнювач нейтронів**, **відбивач нейтронів** *2*.

Як паливо використовують природний уран, збагачений до 5 % нуклідом $^{235}_{92}U$. Раніше згадувалося, що повільні нейтрони в ядерних реакціях ефективніші, ніж швидкі, тому швидкі нейтрони, що утворюються під час поділу ядер $^{235}_{92}U$, сповільнюють до теплових швидкостей за допомогою речовини-сповільнювача (графіт, звичайна вода, важка вода D_2O, у якій звичайний водень замінено на його ізотоп Дейтерій). Одним з перших способів змішування палива зі сповільнювачем було почергове заповнення активної зони урановими і графітовими блоками. У сучасних конструкціях реакторів ядерне пальне (уран) вводять в активну зону, як правило, у вигляді стержнів, між якими розміщено сповільнювач нейтронів.

Для зменшення втрат вторинних нейтронів, які вилітають з ділянки активної зони, її оточують **стінками-відбивачами** *2* з матеріалів, ядра яких добре відбивають нейтрони, зазвичай з графіту або берилію. Для захисту персоналу від йонізуючої радіації реактор ззовні обнесено **захисними стінками** *3* із залізобетону і шарами води.

У процесі ланцюгової реакції температура в активній зоні досягає 500–600 °С. Для відведення теплоти через активну зону реактора по **трубах** *5* пропускають **теплоносій** *6*, наприклад звичайну воду або рідкий металічний натрій. У **теплообміннику** *7* енергія передається **водяній парі** *8*, яка надходить у **турбіну** *9*, а після **конденсатора** *11* вода повертається до теплообмінника. **Електрогенератор** *10* виробляє електричний струм, готовий для використання у промисловості, на транспорті і в побуті.

Керують ланцюговою реакцією за допомогою **регулювальних стержнів** *4*, виготовлених з бору або кадмію, які добре поглинають теплові нейтрони. Ці стержні можна цілком або частково вводити в активну зону, параметри якої розраховано так, щоб при повністю введених стержнях реакція не йшла. Поступово витягуючи стержні, збільшують кількість нейтронів в активній зоні до певного порогового значення, коли реактор починає працювати.

У разі раптового збільшення інтенсивності реакції в реакторі є додаткові **аварійні стержні**, уведення яких в активну зону негайно припиняє реакцію. Керування стержнями автоматизоване.

Мал. 259

У 1971 р. розпочато будівництво першої атомної електростанції в Україні в Чорнобилі. Після аварії 1986 р. її закрито у 2000 р.

На цей час в Україні діють 4 атомні електростанції встановленою потужністю 12 818 млн кВт (мал. 259): Запорізька АЕС, Рівненська АЕС (мал. 260), Хмельницька АЕС, Південно-Українська АЕС. Реактори цих станцій мають потужність 500–1000 МВт. У структурі виробництва електроенергії АЕС складають понад 40 %.

Мал. 260

Як і будь-який технічно-промисловий об'єкт, атомні електростанції поряд з перевагами несуть також потенційну екологічну загрозу, особливо в густозаселених регіонах.

Перевагами АЕС перед тепловими електростанціями є те, що вони не потребують дефіцитного органічного палива і не завантажують залізницю для перевезення вугілля. Атомні електростанції не витрачають атмосферний кисень і не засмічують навколишнє середовище золою і продуктами згоряння. Є дані, що викиди АЕС в атмосферу радіоактивних речовин містять менше, ніж викиди теплових електростанцій.

Але АЕС властиві також шкідливі й небезпечні чинники впливу на довкілля, насамперед загроза радіоактивного забруднення довкілля під час аварійних ситуацій.

Проекти АЕС гарантують безпеку персоналу станції і населення. Світовий досвід експлуатації АЕС свідчить, що біосфера надійно захищена від радіаційного впливу станції в нормальному режимі експлуатації. Але помилки персоналу і прорахунки в конструкції реакторів не виключають ризику аварій, як це сталося під час вибуху четвертого реактора Чорнобильської АЕС.

Після цих подій різко зросла кількість наукових досліджень у галузі гарантування безпеки об'єктів атомної енергетики. Однак результати багатьох досліджень проблем безпеки АЕС хоч і виявили недоліки, упущення, навіть помилки в гарантуванні безпеки АЕС, але підтвердили впевненість фахівців у тому, що високого рівня безпеки АЕС можна досягти на основі сучасних знань і технологій.

Теоретично ядерна енергія близька до ідеальної. Проте навіть найпалкіші прихильники ядерної енергетики визнають, що з її виробництвом пов'язано чимало проблем.

Під час роботи атомних реакторів накопичуються радіоактивні відходи. Розпадаючись, вони виділяють тепло, і тому їх треба ще тривалий час охолоджувати після закінчення керованого процесу розщеплення. На сьогодні немає поки що загальноприйнятного способу збереження відходів, які надовго залишаються високорадіоактивними.

Є проблема надійності сховищ радіоактивних речовин, дамб, які мають захищати річки і водойми від радіаційного забруднення. Високорадіоактивні відходи неможливо знищити: їх треба ізолювати від навколишнього середовища на десятки тисяч років – лише тоді вони не завдаватимуть ніякої шкоди. Треба створити незалежну від людини систему знешкодження ядерних відходів.

Виробництво ядерної енергії – похідне від виробництва ядерної зброї, яка є найруйнівнішою. За допомогою ракет цю зброю можна доставити в будь-який пункт земної кулі.

Ядерний реактор через низку причин не може вибухнути, як ядерна бомба. Однак він містить таку кількість радіоактивних речовин, яка в тисячу разів перевищує кількість речовин, вивільнених над Хіросімою. Отже, вивільнення навіть незначної частини цих матеріалів може завдати великої шкоди і людині, і навколишньому середовищу.

Забруднення навколишнього середовища відбувається і в результаті техногенних викидів, які мають місце під час роботи атомних реакторів. До 1994 р. побудовано близько 430 енергетичних атомних реакторів, які в десятки разів збільшили викиди в навколишнє середовище радіоактивних речовин порівняно з викинутими в атмосферу, водойми і похованими як відходи.

Викиди не повинні перевищувати ту кількість речовин, яку може засвоїти, переробити біосфера без шкоди для себе. Отже, забруднення біосфери є найважливішою проблемою тому, що її розв'язання стосується інших проблем – енергії, ресурсів, питної води тощо.

Забруднення території України радіоактивними викидами під час катастрофи на Чорнобильській АЕС не має аналогів ні за масштабами, ні за тяжкістю екологічних, соціальних і економічних наслідків. Під час аварії було забруднено близько 12 млн гектарів, з них 8,4 млн гектарів сільськогосподарських угідь.

У період експлуатації АЕС, а також після вироблення її ресурсу навколо АЕС потрібно створювати санітарну зону, що призводить до вилучення великих площ земель, придатних для господарської діяльності людини.

Виробництво атомної енергії потребує надзвичайно високої кваліфікації персоналу, який обслуговує атомні реактори, це дасть змогу майже уникнути помилок, які можуть призвести до аварії.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Назвіть основні етапи становлення ядерної енергетики.
2. Дайте означення ядерної енергетики.
3. Чим відрізняється будова АЕС від будови звичайних теплових електростанцій?
4. Яка будова ядерного реактора?
5. Для чого потрібні сповільнювач і відбивач нейтронів?
6. Як керують ходом ланцюгової реакції?
7. Які атомні електростанції діють в Україні?
8. Які переваги мають АЕС?
9. Назвіть основні проблеми ядерної енергетики.
10. Чому радіоактивне забруднення поблизу діючих АЕС виявляється меншим, ніж біля звичайних теплових електростанцій, які працюють на кам'яному вугіллі?

§ 31. ТЕРМОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ. ЕНЕРГІЯ СОНЦЯ І ЗІР

Термоядерні реакції – це реакції синтезу (злиття) легких ядер за дуже високої температури.

Щоб такі ядра, наприклад Гідрогену, злилися, вони повинні наблизитися на відстань приблизно 10^{-15} м, тобто потрапити у сферу дії ядерних сил. Цьому наближенню протидіє кулонівське відштовхування ядер, яке вони можуть подолати лише тоді, коли матимуть велику кінетичну енергію теплового руху.

Енергія, яка виділяється під час термоядерних реакцій в одному акті синтезу з розрахунку на один нуклон, більша від такої, що виділяється в ланцюгових реакціях поділу ядер. Так, під час злиття **важкого Гідрогену – Дейтерію** з ізотопом Гідрогену – **Тритієм** виділяється близько 3,5 МеВ на один нуклон, тоді як під час поділу Урану на один нуклон виділяється енергія, що дорівнює приблизно 1 МеВ.

Термоядерні реакції відіграють вирішальну роль в еволюції Всесвіту. Енергія випромінювання Сонця та інших зір – термоядерного походження. За сучасними уявленнями, на ранній стадії розвитку зоря складається переважно з водню. Температура всередині зорі така велика, що в ній відбуваються реакції злиття протонів й утворюється Гелій. Потім від злиття ядер Гелію утворюються важчі елементи. Усі ці реакції супроводжуються виділенням енергії, завдяки якій зорі випромінюють світло протягом мільярдів років. На Землі некерована термоядерна реакція відбувається під час вибуху водневої бомби.

Здійснення **керованих термоядерних реакцій** на Землі дасть людству нове, практично невичерпне джерело енергії. Найбільш перспективні щодо цього реакції злиття Дейтерію з Тритієм:

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}.$$

У цій реакції виділяється енергія 17,6 МеВ на один нуклон. Оскільки Тритію у природі немає, його треба виробляти в самому термоядерному реакторі з літію.

Згідно з проектом ІТЕР (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor) у м. Кадараш (Франція) ведеться будівництво першого у світі міжнародного експериментального термоядерного реактора. Мета цього проекту – продемонструвати наукову і технічну можливість вироблення теплової та електричної енергії на основі термоядерного синтезу. За прогнозами фахівців за 30–40 років може розпочатися ера промислового використання термоядерної енергії.

Кожного разу, як тільки у фізиці робили якесь серйозне відкриття, астрономи починали «приміряти» його до своїх проблем. Так, наприкінці XIX ст. майже одразу після відкриття Беккерелем явища радіоактивності було висунуто гіпотезу, що світність Сонця підтримується за рахунок розпаду ядер важких хімічних елементів, наприклад Радію (відкритий у 1898 р.) або Урану.

Період піврозпаду Радію дорівнює 1620 років, а ізотопу Урану $^{238}_{92}\mathrm{U}$, який на 99,27 % складає природний Уран, – 4,51 млрд років. Отже, наприклад, радієве Сонце висвітило б основну частину своєї енергії усього за кілька тисяч років, а уранове Сонце було б істотно слабкішим за сучасне.

До того ж уранове Сонце спалахнуло б як велетенська ядерна бомба відразу під час свого утворення (слід зазначити, що ланцюгові реакції та існування критичної маси було виявлено значно пізніше). Нині відомо, що в сучасному природному урані, який містить усього 0,72 % $^{235}_{92}\mathrm{U}$, ланцюгова реакція неможлива (в існуючих ядерних реакторах вона відбувається тільки за умови використання уповільнювачів нейтронів). Але 5 млрд років тому вона обов'язково б розпочалася, оскільки період піврозпаду $^{235}_{92}\mathrm{U}$ становить усього 713 млн років, тому його частка тоді була ≈ 30 % (для ланцюгової реакції достатньо 3 %).

Ідея про термоядерне джерело зоряної енергії за рахунок синтезу гелію з водню має довгий і складний шлях становлення. Початок цієї історії можна датувати 1919 р., коли англійський фізик і хімік **Френсіс Астон** сконструював мас-спектрограф. За його допомогою він знайшов точні значення мас атомів Гідрогену і Гелію. Це якраз один з яскравих прикладів в історії науки, коли точність вимірювання мала вирішальне значення. Виявилося, що маса атома Гелію становить 3,97 від маси атома Гідрогену, безпосереднього його сусіда в таблиці Менделєєва. Цілком природно було припустити, що за певної температури чотири ядра атома Гідрогену можуть об'єднуватися в ядро атома Гелію.

Слід зазначити, що термоядерне «горіння» водню відрізняється найвищою ефективністю порівняно з іншими хімічними елементами.

Синтез гелію з водню як джерело енергії зір запропонував у 1920 р. **Артур Еддінгтон** – один із творців теорії внутрішньої будови зір. У книжці «Зорі й атоми» він писав: «Точка зору, за якою енергія зорі виникає під час побудови інших елементів з водню, має велику перевагу, бо не існує сумнівів відносно можливості цього процесу, оскільки ми не маємо доказів того, що у природі може відбуватися анігіляція матерії... На мою думку, існування гелію є найкращим доказом того, що гелій може утворюватися...». Щоправда тут Еддінгтон помилявся. На сьогодні загальновизнаним є те, що існуюча кількість гелію не могла утворитися в зорях, а

виникла в результаті первісного нуклеосинтезу на ранніх етапах еволюції нашого Всесвіту.

Сонячні, та й загалом зоряні надра здавалися фізикам 20-х років XX ст. занадто холодними, щоб там могло відбуватися перетворення водню в гелій.

Еддінгтон уважав, що фізики повинні продовжувати дослідження і тоді із часом зрозуміють, як за порівняно низьких температур водень може перетворюватись у гелій. Так і сталося. Цю проблему розв'язали фізики **Роберт Аткінсон** і **Фрідріх Гоутерманс**. Вони скористались уявленнями **Георгія Гамова** про тунельний ефект (1928 р.). З нової фізичної теорії – квантової механіки, яка якраз створювалась у ті часи, випливало, що мікрочастинки завдяки своїм хвильовим властивостям можуть проникати під потенціальні бар'єри і просочуватися крізь них.

Гамов розв'язав проблему розпаду радіоактивних ядер, а Аткінсон і Гоутерманс, скориставшися цим, розв'язали обернену задачу. У березні 1929 р. вони надіслали в редакцію німецького журналу статтю під назвою «До питання про можливість утворення елементів у надрах зір». У цій статті вони довели, що хоча в межах класичної фізики протони можуть зливатися один з одним лише за температур у кілька десятків мільярдів кельвінів, тунельний ефект допускає імовірність такого процесу вже за відносно низьких температур, що існують у надрах зір. Гоутерманс писав у своїй книжці «Яскравіше за тисячу сонць» (1961 р.): «У той самий вечір, після того як ми закінчили нашу статтю, я пішов гуляти із чарівною дівчиною. Коли стемніло і одна за одною стали з'являтися зорі в усій їх величі, моя супутниця вигукнула: «Як чудово вони виблискують! Справді?» Я випнув груди і вимовив поважно: «Зі вчорашнього вечора я *знаю*, чому вони виблискують».

Доля Гоутерманса пов'язана з Україною. Його, уже як видатного фізика і німецького комуніста, у 1934 р. запросили працювати в Радянський Союз. З 1935 по 1937 р. він був співробітником Українського фізико-технічного інституту (м. Харків), де вже з 1932 р. працював Лев Ландау. У 1937 р. Гоутерманс був заарештований НКВС як німецький шпигун. Його жорстоко били і катували багатоденними конвеєрними допитами, але він не втратив гідності й не дав брехливих свідчень на своїх колег. Можна вважати, що йому пощастило – у 1940 р. його звільнили і вислали з СРСР як «небажаного іноземця».

Отже, після статті Аткінсона і Гоутерманса стало зрозумілим, що джерелом енергії зір все ж таки можуть бути термоядерні реакції. *Але які саме? За якими каналами?* Конкретна відповідь на ці запитання з'явилася лише через 10 років.

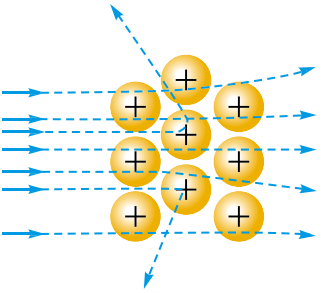
Першу відповідь на ці запитання знайшли незалежно один від одного **Карл Вейцзеккер** у Німеччині і **Ганс Бете** в США. У 1938 р. вони виявили перший цикл послідовної трансформації гідрогену в гелій, який ми на сьогодні називаємо **карбоно-нітрогеновим**. Інший варіант перетворення водню в гелій відомий нині як **протон-протонний** цикл, який запропонували в тому-таки 1938 р. **Ганс Бете** і **Чарльз Критчфілд**.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому полягає суть термоядерних реакцій?
2. Яку енергію мають Сонце та інші зорі?
3. Хто з учених вивчав процеси, які відбуваються на Сонці та інших зорях?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом



Мал. 261

1. Що відбудеться, якщо ізольовану мідну кульку покрити полонієм, що випромінює α-частинки, і помістити її у вакуум?

Відповідь: полоній, втрачаючи позитивний заряд, надає кульці негативного заряду.

2. Який дослід пояснює малюнок 261?

Відповідь: дослід Резерфорда, який доводить, що атом має планетарну будову.

3. Чому основна кількість α-частинок вільно проходить крізь золоту фольгу?

Відповідь: тому що позитивно заряджене ядро атома сконцентроване в малому об'ємі й лише окремі α-частинки можуть зіткнутися з ядром.

Рівень А

182. Які міркування дають підстави стверджувати, що позитивний заряд атома зосереджений у малому об'ємі та визначає масу атома?

183. Чому на меморіальній дошці, установленій на коледжі, де навчався Резерфорд, написано: «Він збудував собі пам'ятник недосяжний, який переживе століття»?

184. Чому радіоактивні препарати зберігають у товстостінних свинцевих контейнерах?

185. Чим зумовлене внутрішнє опромінення людини і яка його еквівалентна доза?

186. Чим зумовлене зовнішнє опромінення людини і яка його еквівалентна доза?

187. Чому нейтрони, які не спричиняють йонізації, негативно впливають на тканини людини?

188. Чому радіоактивні ізотопи Йоду-131 і Плутонію-239 дуже шкідливі для організму?

189. За допомогою «мічених атомів» учені встановили, що середня швидкість руху води від коренів по стовбуру і до гілок рослини дорівнює 14 м/год. Визначте, за який інтервал часу після поливання вода досягне верхівки яблуні висотою 7 м.

190. Чи є телевізор джерелом радіоактивного випромінювання?

191. Які радіоактивні речовини ви знаєте?

192. Як захиститися від дії йонізуючого випромінювання?

193. Чому свинець є найкращою речовиною для захисту від радіації?

194. Як зменшити чутливість організму до радіації?

Рівень Б

195. У яких регіонах України знаходяться найбільші поклади уранових руд? Яким способом добувають уран (мал. 262)?

Мал. 262

Мал. 263

196. Для чого лікарі-рентгенологи під час роботи користуються рукавицями, фартухом та окулярами, зробленими з матеріалів, що містять солі Плюмбуму?

197. Чому, працюючи в радіоактивно забруднених зонах, потрібно надягати спеціальне спорядження (мал. 263)?

198. Доза 1 Гр поглинутого випромінювання α-частинок чинить на живий організм приблизно таку саму біологічну дію, як і 20 Гр γ-випромінювання. Визначте коефіцієнт відносної біологічної ефективності для α-частинок.

199. Під час роботи атомного реактора в тепловидільних елементах нагромаджується значна кількість радіоактивних ізотопів різних хімічних елементів. Серед них ізотопи Йод-131, Йод-133, Йод-135. Періоди піврозпаду цих ізотопів відповідно дорівнюють 8 діб, 20 год, 7 год. Під час аварії на Чорнобильській АЕС викид цих ізотопів становив значну частину від загальної кількості. Визначте, яка частина кожного з ізотопів Йоду розпалася до кінця першого місяця після аварії на Чорнобильській АЕС.

200. Серед радіоактивних забруднень, спричинених аварією на Чорнобильській АЕС, найнебезпечнішими є довго живучі продукти поділу, такі як Стронцій-90, Цезій-137. Обчисліть час до моменту, коли активність цих забруднень зменшиться в 10 разів. Періоди піврозпаду їх відповідно становлять 28 і 30 років.

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Іваненко Дмитро Дмитрович (1904–1994) – доктор фізико-математичних наук, професор Московського університету ім. М.В. Ломоносова. Народився в Полтаві. Дід Дмитра з боку батька, як і багато хто з його роду, був священиком. Батько видавав газету «Полтавський вісник». У 1920 р. Дмитро закінчив полтавську гімназію, де за високу ерудицію мав прізвисько Професор.

У 1920–1923 рр. працював учителем фізики і математики в Полтавській трудовій школі. Одночасно навчався в Полтавському педагогічному інституті, який успішно закінчив. Тоді ж вступив до Харківського університету, працюючи ще і в Полтавській

астрономічній обсерваторії. Згодом його перевели до Ленінградського університету, який закінчив у 1927 р.

Очолював відділ теоретичної фізики в Українському фізико-технічному інституті в Харкові, працював у Ленінградському фізико-технічному інституті, у науково-дослідних установах Томська і Свердловська. У 1940–1941 рр. був професором, завідувачем кафедри теоретичної фізики Київського університету. З 1943 р. – професор Московського університету, з 1949 р. також працював в Інституті історії природознавства і техніки.

Основні напрями наукової діяльності: *теоретична фізика*, *теорія гравітації* (тяжіння), *історія фізики.* Наприкінці лютого 1932 р. англійський фізик Джеймс Чедвік на сторінках англійського журналу «Nature» повідомив про відкриття третьої елементарної частинки – нейтрона, а вже у травні 1932 р. Іваненко виступив на сторінках цього самого журналу із статтею «Гіпотеза про роль нейтронів», у якій уперше висловив думку, що нейтрон поряд з протоном є структурним елементом ядра, і вперше сформулював **протонно-нейтронну модель ядра**, нині загальновизнану. Уже неможливо уявити шкільні підручники у світі без опису атомів з електронними оболонками та ядрами із протонів і нейтронів.

За дослідження з теорії електрона, що «світиться» під час швидкого руху по колу в магнітному полі, і сучасних проблем електродинаміки, викладених у монографії «Класична теорія поля» (1949), у 1950 р. разом з І.Я. Померанчуком і А.О. Соколовим удостоєний тогочасної державної премії.

Автор численних наукових праць, зокрема «Квантової теорії поля» (1952).

Піонером у галузі ядерних досліджень в Україні був Харківський фізико-технічний інститут. У 1932 р. вперше було здійснено розщеплення ядра атома Літію швидкими протонами на дві α-частинки (К.Д. Синельников, О.І. Лейпунський, А.К. Вальтер, Г.Д. Латишев). У 1939 р. в Харкові збудовано перший електростатичний прискорювач заряджених частинок на 2,5 МеВ, за допомогою якого Синельников і Вальтер дослідили поглинання швидких електронів речовиною. Вагомий внесок у розвиток ядерної фізики та ядерної енергетики зробив **Олександр Ілліч Лейпунський**.

Він одержав у 1934 р. перше непряме підтвердження гіпотези нейтрино, досліджуючи імпульси віддачі ядер під час α-розпаду. У 1935–1939 рр. під керівництвом Лейпунського досліджено взаємодію нейтронів з різними речовинами – водою, парафіном, залізом та нікелем (Г.О. Голобородько, Л.В. Розенкевич, Д.В. Тимощук).

Біля входу в УФТІ. Харків, 30-ті роки. Зліва направо: 1-й ряд – Л.В. Шубніков, О.І. Лейпунський, Л.Д. Ландау, П.Л. Капиця; 2-й ряд – Б.М. Фінкельштейн, О.М. Трапезнікова, К.Д. Синельніков, Ю.Н. Рябінін

У Києві ядерні дослідження почалися в 1944 р. під керівництвом Лейпунського. З 1946 р. цими дослідженнями в Інституті фізики АН УРСР керував **Митрофан Васильович Пасічник**. Учені вивчали взаємодії ядер з нейтронами радон-берилієвого джерела у 100 мКі.

У 1960 р. в Україні до ряду діючих установок введено експериментальний ядерний реактор ВВР-М з тепловою потужністю 10 МВт. З метою прискорення протонів збудовано електростатичний генератор у стисненому газі на енергію 2,5 МеВ для протонів.

В.Й. Стрижак, **М.Д. Борисов** з колективом розробили низьковольтні генератори протонів. З 1953 р. в Інституті фізики АН УРСР діяв циклотрон У-120, який давав змогу прискорювати протони, ядра дейтерію та α-частинки до енергій відповідно 6,8; 13,6 та 27,2 МеВ. Дослідження на ядерному реакторі дали важливі відомості про взаємодію нейтронів з різними речовинами, що потрібні для вибору конструкційних матеріалів під час будівництва промислових атомних електростанцій.

На ядерному реакторі працівники багатьох науково-дослідних інститутів досліджують вплив нейтронів і γ-променів на різні матеріали, рослини, мікроби та інші біологічні об'єкти. У 1964 р. було створено електростатичний генератор на 5 МеВ. На базі ядерних відділів Інституту фізики в 1970 р. в Академії наук України утворено Інститут ядерних досліджень. У 1977 р. тут було введено в експлуатацію ізохронний циклотрон У-240.

Поряд з експериментальними проводилися широкі теоретичні дослідження з ядерної фізики. Першою з теорії ядра була праця **Лева Давидовича Ландау** (1937), присвячена статистичній теорії ядер, яку він виконав у Харківському фізико-технічному інституті. Велике значення для розвитку ядерної фізики мали роботи одного із засновників Харківської школи фізиків-теоретиків, керівника відділу теоретичної фізики Українського фізико-технічного інституту (тепер – Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»), академіка НАН України (1964) **Олександра Ілліча Ахієзера**, зокрема його монографія «Деякі питання теорії атомного ядра» (у співавторстві з **І.Я. Померанчуком**).

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Яке наукове значення мали досліди Резерфорда?
2. Чому модель атома назвали «планетарною»?
3. Що таке радіоактивність і які існують її види?
4. Які радіоактивні речовини ви знаєте? Як вони використовуються?
5. Назвіть величини для визначення дози опромінення. Чим вони відрізняються між собою?
6. Назвіть основні одиниці доз опромінення. Покажіть зв'язок між ними.
7. Яким чином може уразити організм людини радіоактивне випромінювання?
8. Чи однаково реагують органи людини на радіоактивне випромінювання? Доведіть це.
9. Які радіоактивні речовини є найнебезпечнішими під час ядерних катастроф?
10. За рахунок якого виду енергії виробляють електричну енергію на атомних станціях?
11. Чому атомні реактори розміщують за масивними залізобетонними стінами та іншими захисними спорудами?
12. Які перспективи розвитку ядерної енергетики в Україні?

Що я знаю і вмію робити

Я знаю, які досліди виконав Резерфорд.

1. Чому у своїх дослідах Резерфорд використав саме золоту фольгу?
2. Чому у своїх дослідах Резерфорд використав α-частинки, а не електрони?

Я знаю, що таке радіоактивність.

3. Які частинки мають більшу енергію: α- чи β-частинки?

4. Які речовини використовують для захисту від радіоактивного випромінювання?

Я вмію визначати період піврозпаду атомних ядер.

5. За таблицею визначте період піврозпаду ядер Урану-235.

Назва	Символ	Число протонів (Z)	Число нуклонів (Z+N)	Період напіврозпаду	Вид випромінювання
Уран	U	92	238	$4{,}5 \times 10^9$ років	α
Уран	U	92	235	7×10^8 років	α, γ
Торій	Th	90	232	$1{,}4 \times 10^{10}$ років	α, γ
Протактиній	Pa	91	231	$3{,}4 \times 10^4$ років	α, γ
Актиній	Ac	89	227	22 роки	β, γ
Радій	Ra	88	226	1860 років	α, γ
Радон	Rn	86	222	3,8 доби	α
Полоній	Po	84	210	138 діб	α
Свинець	Rb	82	210	22 роки	β, γ
Калій	K	19	40	$4{,}5 \times 10^8$ років	β, γ

Я вмію користуватися дозиметрами.

6. Які прилади зображено на малюнку 264? Для чого їх використовують?

Мал. 264

7. Чи можна за допомогою дозиметра виміряти еквівалентну дозу γ-випромінювання?

Я знаю, як людина захищає свій організм від радіаційного випромінювання.

8. Чому у скло для радіаційних камер додають свинець?

9. Якими хімічними елементами найбільше забруднена Чорнобильська зона?

Я знаю, як побудований атом.

10. На малюнку 265 показано зразки металічного натрію і рідкого хлору. Яка речовина утворюється при їх сполученні?

11. Чому атом може втрачати електрон або захоплювати його? Що при цьому утворюється?

Мал. 265

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Яке з випромінювань відхиляється в магнітному полі?

А γ-випромінювання
Б потік протонів
В потік нейтронів
Г світлові промені

2. Скільки протонів Z і нейтронів N в ядрі ізотопа кисню $^{17}_{8}\mathrm{O}$?

3. **А** $Z = 8$, $N = 17$ **Б** $Z = 8$, $N = 9$ **В** $Z = 17$, $N = 8$ **Г** $Z = 8$, $N = 8$

4. Які з перелічених випромінювань мають найбільшу проникну здатність?

А β-випромінювання
Б α-випромінювання
В γ-випромінювання
Г рентгенівське випромінювання

5. Який порядковий номер у періодичній системі елемента, що отримано в результаті α-розпаду ядра елемента з порядковим номером Z?

А $Z + 2$ **Б** $Z - 2$ **В** $Z - 4$ **Г** $Z - 1$

6. До якого виду належить реакція $^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{24}_{11}\mathrm{Na} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$?

А ядерна реакція
Б термоядерна реакція
В керована ядерна реакція
Г ланцюгова реакція

7. Який період піврозпаду Йоду-131?

А 6 днів **Б** 18 днів **В** 8 днів **Г** 80 днів

8. Який фізичний чинник впливає на значення активності радіоактивного препарату?

А температура **Б** маса **В** тиск **Г** електричне поле

9. Чим відрізняються ізотопи певного хімічного елемента?

А числом протонів у ядрі
Б хімічними властивостями
В числом електронів в оболонці
Г числом нейтронів у ядрі

10. Який матеріал є найкращим для захисту від рентгенівського і γ-випромінювання?

А деревина **Б** свинець **В** залізо **Г** бетон

11. На яких електростанціях використовують ядерне паливо?

А ВЕС **Б** ГЕС **В** АЕС **Г** ГРЕС

12. Який прилад застосовують для вимірювання дози радіоактивного випромінювання?

А вольтметр **Б** амперметр **В** дозиметр **Г** ватметр

Варіант 2

1. Які частинки використовував у своїх дослідах Резерфорд?

А нейтрони **Б** електрони **В** протони **Г** ядра Гелію

2. Які із частинок, що рухаються в магнітному полі, не відхиляються ним?

А електрони **Б** нейтрони **В** протони **Г** жодні

3. Скільки протонів Z і нейтронів N в ядрі ізотопа Карбону $^{13}_{8}\mathrm{C}$?

А $Z = 6$, $N = 13$ **Б** $Z = 6$, $N = 7$ **В** $Z = 13$, $N = 6$ **Г** $Z = 6$, $N = 6$

4. Який період піврозпаду Стронцію-90?

А 24 роки **Б** 24 дні **В** 240 днів **Г** 240 років

5. Який порядковий номер у періодичній системі в елемента, який отримано в результаті β-розпаду ядра елемента з порядковим номером Z?

А $Z + 1$ **Б** $Z - 0$ **В** $Z - 2$ **Г** $Z - 1$

6. До якого виду належить реакція $^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$?

А ядерна реакція
Б термоядерна реакція
В керована ядерна реакція
Г ланцюгова реакція

7. Від якого з перелічених чинників залежить активність радіоактивного препарату?

А період піврозпаду **Б** магнітне поле **В** тиск **Г** температура

8. Який з перелічених ізотопів не може бути пальним у реакторах на повільних нейтронах?

А $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$ **Б** $^{233}_{92}\mathrm{U}$ **В** $^{238}_{92}\mathrm{U}$ **Г** $^{235}_{92}\mathrm{U}$

9. У яких регіонах України розміщуються найбільші поклади уранових руд?

А у західних областях
Б у Дніпропетровській та Кіровоградській областях
В у Донецькій і Луганській областях
Г у жодному з регіонів

10. Яка з перелічених речовин є найкращим сповільнювачем швидких нейтронів?

А золото **Б** ртуть **В** вода **Г** залізо

11. Яке з перелічених джерел йонізуючої радіації є штучним?

А космічні промені
Б відходи теплових і атомних електростанцій
В гранітні породи
Г радіоактивний радон

12. Яким харчовим продуктом слід збагатити свій раціон, щоб попередити накопичення в організмі цезію?

А сало **Б** хліб **В** родзинки **Г** цукор

Розділ 5

РУХ І ВЗАЄМОДІЯ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ

Рівноприскорений рух • Прискорення • Графіки прямолінійного рівноприскореного руху • Інерціальні системи відліку • Закони Ньютона • Закон всесвітнього тяжіння • Прискорення вільного падіння • Рух тіла під дією сили тяжіння • Рух тіла під дією кількох сил • Взаємодія тіл • Імпульс • Закон збереження імпульсу • Реактивний рух • Фізичні основи ракетної техніки • Досягнення космонавтики • Фундаментальні взаємодії у природі • Межі застосування фізичних законів і теорій • Фундаментальний характер законів збереження у природі • Прояви законів збереження в теплових, електромагнітних, ядерних явищах • Еволюція фізичної картини світу • Розвиток уявлень про природу світла • Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес

§ 32. РІВНОПРИСКОРЕНИЙ РУХ. ПРИСКОРЕННЯ. ГРАФІКИ ПРЯМОЛІНІЙНОГО РІВНОПРИСКОРЕНОГО РУХУ

Мал. 266

Прямолінійний рівномірний рух, тобто рух зі сталою швидкістю, – рідкісне явище в навколишньому середовищі. Значно частіше доводиться мати справу з такими рухами, у яких швидкість не є сталою, а із часом змінюється. Такі рухи називають **нерівномірними**.

На всіх сучасних транспортних засобах установлюють спеціальні прилади – спідометри (мал. 266), які показують значення швидкості в певний момент часу.

Зрозуміло, що за спідометром не можна визначити напрямок швидкості. Для деяких засобів транспорту, наприклад для морських кораблів і літаків, потрібно знати також напрямок швидкості руху. Тоді, крім спідометра, установлюють ще й інші навігаційні прилади, у найпростішому випадку – компас.

Отже, тепер ми знаємо, що в нерівномірному русі швидкість руху тіла не є сталою величиною і в різні моменти часу має свій напрямок і значення.

Для спрощення розглядатимемо такий нерівномірний рух, під час якого швидкість руху тіла за кожну одиницю часу і взагалі за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково. Такий рух називають **рівноприскореним**.

Рух тіла, під час якого його швидкість за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково, називають *рівноприскореним рухом*.

Під час такого руху швидкість може змінюватися по-різному – дуже стрімко (рух кулі в рушниці, старт ракети, розбіг літака тощо) і порівняно повільно (початок руху потяга, гальмування автомобіля тощо).

Якщо за деякий інтервал часу Δt приріст швидкості дорівнює $\Delta\vec{v}$, то за подвоєний інтервал часу $2\Delta t$ приріст швидкості буде подвоєним – $2\Delta\vec{v}$, за потроєний інтервал часу $3\Delta t$ він буде потроєним – $3\Delta\vec{v}$ і т. д.

При цьому якщо значення Δt змінити, то новому Δt відповідатиме вже інше значення $\Delta\vec{v}$, але відношення $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ приросту швидкості до приросту часу буде таким самим, як і раніше. Отже, у даному рівноприскореному прямолінійному русі відношення $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ незмінне, інваріантне щодо вибору інтервалу часу Δt.

Вектор $\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, який є сталим для кожного даного прямолінійного рівноприскореного руху, характеризує зміну швидкості тіла за одиницю часу.

Ця векторна величина – основна характеристика рівноприскореного руху, яку називають прискоренням і позначають літерою $\vec{a}$.

Прискоренням тіла **в його рівноприскореному прямолінійному русі називають векторну фізичну величину, яка характеризує зміну швидкості за одиницю часу і визначається відношенням зміни швидкості руху тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася:**

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

З означення рівноприскореного руху випливає, що його прискорення є сталою величиною ($\vec{a}$ = const).

Якщо у вибраний початковий момент часу $t = 0$ швидкість руху тіла дорівнює $\vec{v}_0$, а в момент часу t – $\vec{v}$, то маємо $\Delta t = t$, $\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$. Тоді розглянута вище формула має такий вигляд:

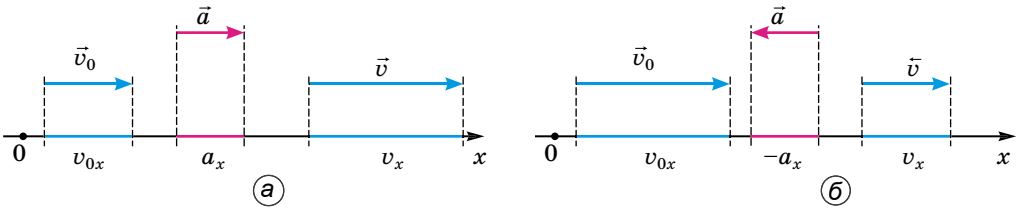
$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t},$$

де $\vec{a}$ – прискорення руху тіла; $\vec{v}_0$ – початкова швидкість руху тіла; $\vec{v}$ – його кінцева швидкість руху; t – час, протягом якого ця зміна відбувалася.

Як видно із цієї формули, **за одиницю прискорення слід узяти прискорення такого прямолінійного рівноприскореного руху, у якому за одиницю часу швидкість змінюється також на одиницю.** І це означає: прискорення дорівнює одиниці, якщо за 1 с швидкість руху тіла змінюється на 1 м/с. Отже, одиницею прискорення в СІ є 1 м/с^2.

Рівноприскорений рух може бути прискореним або сповільненим, залежно від швидкості руху тіла, яка може збільшуватись або зменшуватись із часом відповідно. Знаходячи прискорення руху, потрібно враховувати векторні властивості даної фізичної величини. Розглянемо прискорення та швидкість рівноприскореного руху в проекціях на вісь Ox (мал. 267), тоді прискорення набуватиме вигляду:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}.$$



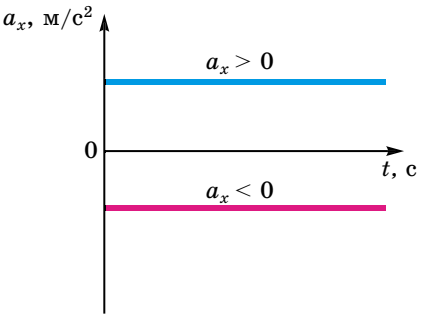
Мал. 267

Якщо $v_x > v_{0x}$, тобто швидкість руху тіла збільшується (мал. 267, *а*), тоді модуль прискорення $a_x > 0$, а його вектор збігається з напрямком руху, то цей рух називають рівноприскореним.

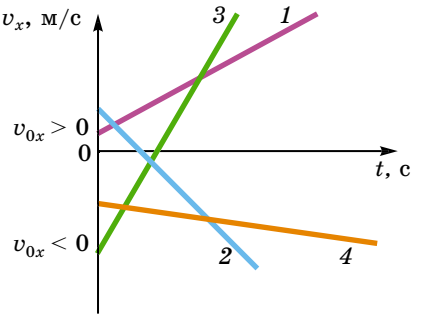
Якщо $v_x < v_{0x}$, тоді модуль прискорення $a_x < 0$, а його вектор буде протилежним до напрямку руху, то такий рух називають рівносповільненим.

Ви вже знаєте, як графічно зображується рівномірний прямолінійний рух тіла. Спробуємо подібно до нього представити графічно рівноприскорений прямолінійний рух.

Почнемо з розгляду **графіка проекції прискорення руху тіла** $a_x = a_x(t)$. Якщо пригадати графік проекції швидкості тіла в рівномірному прямолінійному русі, де $\vec{v} = \text{const}$, і порівняти його з випадком, коли $\vec{a} = \text{const}$, то стає зрозумілим, що ці графіки ідентичні. Тому графіком залежності проекції прискорення руху тіла від часу буде також пряма, яка паралельна осі часу t. Залежно від значення проекції прискорення – додатна вона чи від'ємна – ця пряма розташована або над віссю, або під нею (мал. 268).



Мал. 268



Мал. 269

Графік проекції швидкості руху тіла $v_x = v(t)$. З кінематичного рівняння $v_x = v_{0x} + a_x t$ видно, що залежність проекції швидкості руху тіла від часу є лінійною, як і в рівнянні рівномірного прямолінійного руху. Тоді залишається тільки проаналізувати його для нашого випадку. Залежно від значень проекцій прискорення і початкової швидкості руху тіла v_{0x} і a_x графік матиме різний вигляд (мал. 269), зокрема:

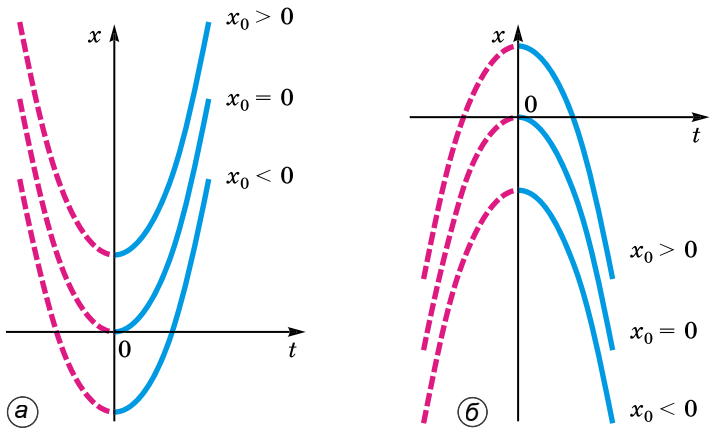
1) $v_{0x} > 0$, $a_x > 0$; 2) $v_{0x} > 0$, $a_x < 0$; 3) $v_{0x} < 0$, $a_x > 0$; 4) $v_{0x} < 0$, $a_x < 0$.

Якщо $v_{0x} = 0$, то пряма виходитиме з початку координат і, залежно від значення проекції прискорення руху тіла, буде напрямлена вгору ($a_x > 0$) або опускатиметься вниз ($a_x < 0$). Нахил прямих залежить від значення проекції прискорення: що більше прискорення руху тіла, то крутіше здіймається чи спадає графік.

Графік руху тіла $x = x(t)$. Кінематичні рівняння руху є квадратичною функцією виду $y = a + bx + cx^2$:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Тому графіком залежності координати тіла від часу є парабола, гілки якої згідно з параметрами руху мають різний напрямок. Наприклад, якщо $v_{0x} = 0$ і $a_x > 0$, то графік має вигляд, зображений на малюнку 270, *а*. Якщо $x_0 \neq 0$, то вершина параболи зміщується по осі ординат угору або вниз, залежно від значення x_0.

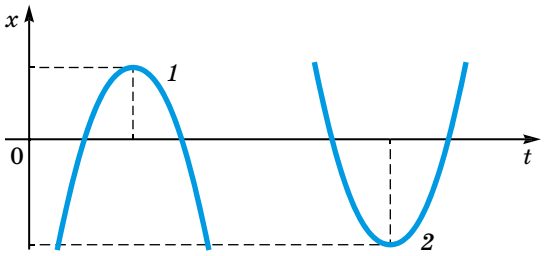


Мал. 270

Якщо $v_{0x} = 0$ і $a_x < 0$, то гілки параболи зорієнтовані вниз (мал. 270, *б*) і зміщення вершини параболи вгору або вниз по осі ординат так само залежить від значення x_0.

Якщо $v_{0x} \neq 0$ і $x_0 \neq 0$ (мал. 271), то вершина параболи зміщується в точку, координати якої визначаються співвідношеннями:

$$x = x_0 - \frac{v_{0x}^2}{2a_x};\ t = -\frac{v_{0x}}{a_x}.$$



Мал. 271

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають рівноприскореним? Наведіть приклади.
2. Що таке прискорення руху тіла?
3. У якому випадку проекція прискорення руху тіла має додатне, а в якому – від'ємне значення?
4. Який вигляд має графік прискорення руху тіла?
5. Чим відрізняється графік швидкості рівномірного прямолінійного руху від графіка швидкості рівноприскореного руху?
6. Як за графіком проекції швидкості рівноприскореного руху визначають проекцію переміщення тіла?
7. Від чого залежить напрямок гілок параболи на графіках рівноприскореного руху тіла?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Прискорення тіла дорівнює -5 м/с^2. Як це розуміти? Поясніть.

Відповідь: тіло рухається рівносповільнено прямолінійно. На це вказує знак «–» біля значення прискорення.

2. Тіло кинули вертикально вгору зі швидкістю 40 м/с. Яка буде швидкість руху тіла через 2 с, через 5 с? Визначте, який шлях пройде тіло і яке його переміщення. Прискорення вільного падіння дорівнює 10 м/с^2.

Дано:

$v_0 = 40$ м/с
$t_1 = 2$ с
$t_2 = 5$ с
$g = 10$ м/с^2

$v_{x1} - ?$ $v_{x2} - ?$
$l - ?$ $s - ?$

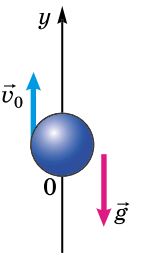
Розв'язання

Використаємо дві формули:

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{g}t, \ \vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2}t.$$

Виконаємо проекції величин на вісь Oy (вісь напрямлена вгору):

$$v_x = v_{0x} - gt, \ s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2}t.$$



Для моменту $t_1 = 2$ с за цими формулами:

$v_{x1} = 40$ м/с $- 10$ м/с$^2 \cdot 2$ с $= 20$ м/с;
$s_{x1} = ((40$ м/с $+ 20$ м/с$) : 2) \cdot 2$ с $= 60$ м.

Отже, у момент $t_1 = 2$ с тіло перебуває на висоті 60 м і має швидкість 20 м/с, напрямлену вгору. Оскільки напрямок руху не змінювався, то шлях, пройдений тілом, 60 м.

Для моменту $t_2 = 5$ с за такими самими формулами отримаємо:

$v_{x2} = 40$ м/с $- 10$ м/с$^2 \cdot 5$ с $= -10$ м/с;
$s_{x2} = ((40$ м/с $- 10$ м/с$) : 2) \cdot 5$ с $= 75$ м.

У момент $t_2 = 5$ с тіло перебуває на висоті 75 м і має швидкість 10 м/с, яка напрямлена вниз. Отже, у момент $t_2 = 5$ с тіло рухається вже після повороту. Пройдений тілом шлях визначимо як суму двох шляхів (рух тіла вгору і вниз) за формулою $l = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_{x2}^2}{2g}$.

$$l = 1600 \text{ м}^2/\text{с}^2 : 20 \text{ м/с}^2 + 100 \text{ м}^2/\text{с}^2 : 20 \text{ м/с}^2 = 85 \text{ м}.$$

Відповідь: $v_{x1} = 20$ м/с; $v_{x2} = -10$ м/с; $l = 85$ м; $s = 75$ м.

Рівень А

201. Що потрібно знати, щоб визначити положення тіла в будь-який момент часу, якщо воно рухається рівноприскорено?

202. Прискорення тіла дорівнює 2 м/с^2. На скільки зміниться швидкість руху цього тіла за 1 с?

203. Початкова і кінцева швидкості руху тіла відповідно дорівнюють 5 м/с і 10 м/с. Як рухається це тіло?

204. Початкова і кінцева швидкості руху тіла відповідно дорівнюють 15 м/с і 10 м/с. Як рухається це тіло?

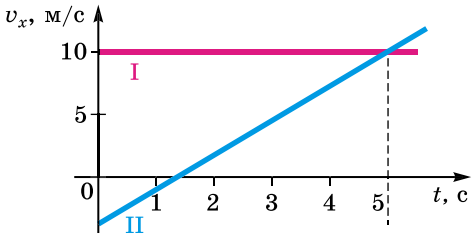
205. Прискорення тіла дорівнює 3 м/с^2. Що це означає? Поясніть.

206. Які з наведених залежностей описують рівноприскорений рух? а) $x = 3 + 2t$, м; б) $x = 4 + 2t$, м; в) $v = 6$, м/с; г) $x = 8 - 2t - 4t^2$, м; д) $x = 10 + 5t^2$, м.

207. Залежність від часу координати точки, яка рухається вздовж осі Ox, має вигляд: $x = 2 - 10t + 3t^2$, м. Опишіть характер руху. Які початкова швидкість і прискорення руху тіла? Запишіть рівняння для проекції швидкості руху тіла.

208. Швидкість руху матеріальної точки в будь-який момент часу задано рівнянням $v = 3 + t$, м/с. Визначте початкову швидкість і прискорення тіла.

209. На малюнку 272 зображено графіки проекцій швидкостей руху двох тіл. Визначте: а) вид руху тіл; б) прискорення руху тіл; в) через скільки секунд після початку руху швидкості тіл будуть однаковими. Запишіть залежність координат тіл від часу.



Мал. 272

Рівень Б

210. Кулька котиться по жолобу без початкової швидкості і за першу секунду проходить 10 см. Який шлях вона пройде за 3 с?

211. За яку секунду від початку рівноприскореного руху тіло пройде шлях, утричі більший за шлях, пройдений за попередню секунду?

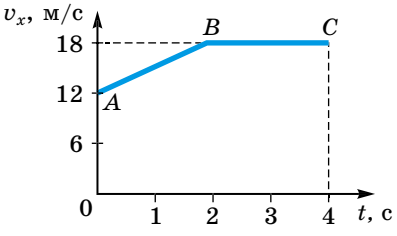
212. Через 10 с після початку руху швидкість поїзда дорівнює 0,6 м/с. Через який час після початку руху швидкість поїзда дорівнюватиме 3 м/с?

213. Автомобіль почав рухатися з прискоренням 1,5 м/с^2 і за деякий час проїхав відстань 12 м. Визначте його швидкість руху в цей момент і середню швидкість.

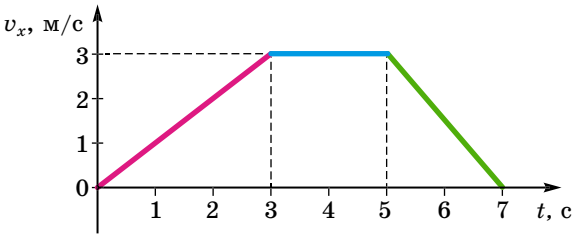
214. Схил завдовжки 100 м лижник проїхав за 20 с, рухаючись із прискоренням 0,3 м/с^2. Яка швидкість лижника на початку і в кінці схилу?

215. Визначте вид руху, відповідний до ділянок графіка AB і BC (мал. 273). Визначте прискорення тіла на кожній з ділянок. Який модуль швидкості тіла на початку і наприкінці руху?

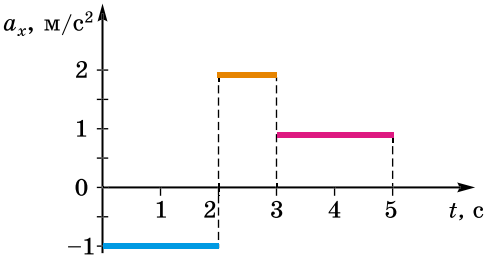
216. На малюнку 274 зображено графік залежності проекції швидкості прямолінійного руху тіла від часу. З яким прискоренням рухалося тіло в інтервалах часу: 1–3 с; 3–5 с; 5–7 с? Накресліть графік залежності проекції прискорення від часу руху.



Мал. 273



Мал. 274



Мал. 275

217. Залежності від часу координат двох точок, які рухаються вздовж осі Ox, мають вигляд: $x_1 = 15 + t^2$, м і $x_2 = 8t$, м. Опишіть характер руху кожного тіла. Побудуйте графіки руху. Визначте час і місце зустрічі тіл.

218. За графіком проекції прискорення руху тіла (мал. 275) побудуйте графіки для проекції швидкості і для проекції переміщення, якщо початкова швидкість руху тіла дорівнює 2 м/с.

219. Тіло рухається вздовж прямої спочатку протягом 5 с рівномірно зі швидкістю 5 м/с, потім рівноприскорено протягом 10 с із прискоренням 1 м/с^2, напрямленим протилежно до початкової швидкості. Побудуйте графіки залежності швидкості, координати і пройденого тілом шляху від часу. Початкова координата дорівнює нулю, напрям осі координат – уздовж початкового напрямку руху тіла.

220. Тіло падає з висоти 78,4 м. Визначте його переміщення за останню секунду падіння.

§ 33. ІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ. ЗАКОНИ НЬЮТОНА

Ви вже знаєте, що рух і спокій відносні. Якщо відносно однієї системи тіло перебуває у стані спокою, то щодо інших систем відліку тіло може рухатися. Розглянемо, наприклад, шайбу, що лежить на льодовому майданчику. Шайба знаходиться у спокої відносно льоду (Землі), тому що вплив на неї Землі компенсується впливом льоду. Але для хокеїста, що рухається повз шайбу прямолінійно і рівномірно, вона також рухається прямолінійно і рівномірно у протилежний бік. Таким чином, одне і те саме тіло (шайба) відносно однієї системи відліку (пов'язаної із Землею) перебуває у стані спокою, відносно іншої (пов'язаної з хокеїстом) рухається прямолінійно і рівномірно. Але хокеїст ударив по шайбі ключкою (мал. 276).

Мал. 276

У результаті дуже нетривалої дії ключки шайба починає рухатися, набуваючи деякої швидкості. Цікаво, що після удару, коли дія ключки на шайбу вже припинилася, шайба продовжує свій рух. Тим часом після удару вплив на шайбу інших тіл залишився таким самим, як і до удару: як і раніше, дія Землі компенсується дією льоду, а ключка, як і до удару, ніякого впливу на рух шайби не робить. Шайба після удару рухається по прямій лінії

з майже сталою швидкістю, якої вона набула в момент удару. Але шайба врешті-решт зупиниться, хоча з досліду відомо: що більш гладенькими будуть лід і шайба, то тривалішим буде рух шайби. Тому можна здогадатися, що якщо б зовсім усунути дію льоду на рухому шайбу (цю дію називають тертям), то шайба продовжувала б рухатися відносно Землі зі сталою швидкістю безупинно.

Проте якщо б поряд із цією шайбою, що рухається рівномірно, рухався хокеїст з такою самою швидкістю, то відносно нього (системи відліку, пов'язаної з ним) шайба знаходилася б у спокої. І в цьому випадку одне й те саме тіло в одній системі відліку (Земля) рухається прямолінійно і рівномірно, відносно іншої (хокеїст) – знаходиться у спокої.

Цей приклад і багато інших, подібних до нього, є проявом одного з основних законів механіки, який називають першим законом руху, або **першим законом Ньютона**.

Існують такі інерціальні системи відліку, відносно яких тіло, що рухається поступально, зберігає свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла (або дії інших тіл компенсуються).

Саме явище збереження швидкості руху тіла (зокрема, стану спокою) при компенсації зовнішніх дій на тіло називають **інерцією**. Тому перший закон Ньютона часто називають **законом інерції**. Повсякденний вираз «рух за інерцією» й означає рух тіла зі сталою швидкістю (тобто прямолінійно і рівномірно), коли дії інших тіл компенсуються.

У першому законі Ньютона йдеться про рівномірний прямолінійний рух. Рух ми можемо розглядати тільки в якій-небудь системі відліку. Виникають запитання: *у якій же системі відліку виконується перший закон? Чи можна вважати, що він виконується в будь-якій системі відліку?* Навіть наближений аналіз механічних явищ показує, що закон інерції виконується далеко не в усіх системах відліку.

Перший закон Ньютона дає змогу визначити, чи є система відліку інерціальною. Для цього потрібно вибрати яке-небудь тіло, для якого сили, що діють, зрівноважені, і простежити за тим, як воно рухається відносно системи відліку, що цікавить нас. Якщо рух рівномірний і прямолінійний (в окремому випадку – спокій), то система інерціальна; якщо рух нерівномірний – система неінерціальна.

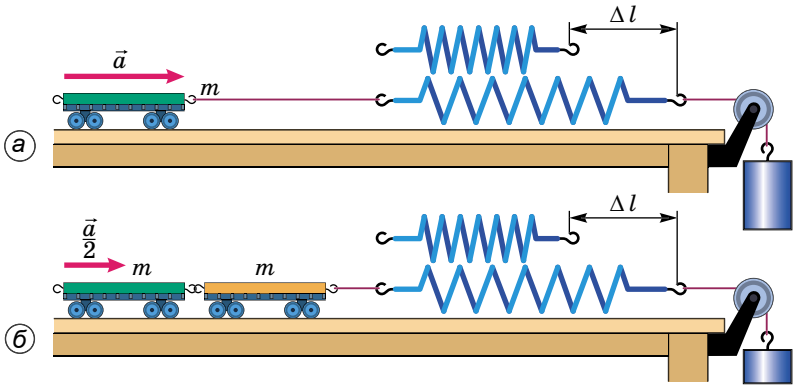
Виникає запитання: *чи існують строго інерціальні системи?* Ньютон, формулюючи закон інерції і включаючи його до основних законів динаміки, стверджував тим самим, що такі системи відліку в природі існують. Насправді, якщо у природі має місце закон інерції, то повинна існувати і така система відліку, де він виконується абсолютно строго, тобто інерціальна система відліку. А якщо існує хоча б одна така система, то із цього випливає, що їх є незліченна множина, тому що всяка система відліку, що рухається рівномірно і прямолінійно відносно інерціальної, буде також інерціальною.

Щоб з'ясувати зв'язок між силою, що діє на тіло, і прискоренням руху тіла, слід виконати дослід. Для проведення досліду вибираємо тіло, яке діє на всі інші тіла з однаковою силою. Таким тілом може слугувати розтягнута або стиснута пружина, у якій діє сила пружності. Від усіх інших

сил сила пружності відрізняється певною особливістю, вона залежить тільки від того, наскільки розтягнута або стиснута пружина, але не залежить від того, до якого тіла пружина прикріплена. Тому на будь-яке тіло, прикріплене до пружини, розтягнутої на певну довжину, діє одна і та сама сила – сила пружності пружини.

Оскільки сила одна й та сама, то якась величина повинна бути однакова для всіх тіл, що прискорюються цією силою. На досліді і з'ясуємо, що це за величина.

Дослід. До візка, маса якого відома (m), прикріпимо один кінець пружини, а другий її кінець прикріпимо до нитки з вантажем, перекинутої через блок (мал. 277, *а*). Унаслідок притягання до Землі вантаж рухається вниз і розтягує пружину. Вона, розтягнута на певну довжину Δl, діє силою пружності на візок і надає йому прискорення. Це прискорення можна виміряти, наприклад, воно дорівнює a.



Мал. 277

Повторимо дослід з двома візками однакової маси (їхня маса – $2m$), з'єднаними разом (мал. 277, *б*). Нам потрібно виміряти прискорення візків при тому самому видовженні пружини, оскільки сила повинна бути незмінною. Щоб видовження пружини було таким самим, як на початку досліду, потрібно підвісити до нитки інший вантаж. Дослід показує, що при тому самому видовженні Δl пружини прискорення двох візків дорівнює $\frac{a}{2}$. Якщо з'єднати три, чотири і більше візків, то при тому самому видовженні Δl пружини прискорення тіл виявиться у три, чотири і більше разів меншим, ніж одного візка. Виявляється, що зі збільшенням маси візка в певне число разів прискорення, якого набуває тіло під час дії тієї самої сили, зменшується у стільки само разів. А це означає, що однаковим виявляється добуток маси візка і його прискорення.

Це дало Ньютону підставу стверджувати, що сила визначається добутком маси тіла і його прискорення, та сформулювати найважливіший закон механіки, який назвали **другим законом Ньютона**.

Сила, що діє на тіло, визначається добутком маси тіла і його прискорення, наданого цією силою.

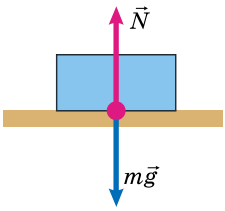
Формулу, що виражає другий закон Ньютона, слід записувати в такому вигляді: $\vec{F} = m\vec{a}$. Із цієї формули можна отримати вираз для прискорення руху тіла $\vec{a}$: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, з якого видно, що прискорення тіла завжди напрямлене так само, як і сила, що спричиняє його.

Прискорення руху тіла прямо пропорційне силі, прикладеній до нього, та обернено пропорційне до маси тіла і напрямлене в бік дії сили.

Слід зауважити, що другий закон Ньютона, як і перший, виконується лише для матеріальних точок. У разі дії сил на протяжне тіло другий закон описує прискорення не всього тіла, а тільки його центра мас. Проте під час поступального руху твердого тіла всі його точки мають однакові прискорення, тому другий закон виконується для будь-якої його точки.

Кожен із законів Ньютона поступово розкриває зміст одного з найважливіших понять механіки – поняття сили. Якщо другий закон стверджує, що будь-яка сила спричиняє прискорення, то третій закон говорить, що всі сили мають характер взаємодій.

Сили, з якими які-небудь два тіла діють одне на одне, завжди рівні за значенням, але протилежні за напрямком.



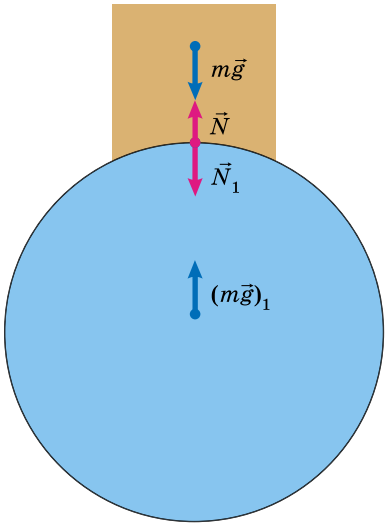
Мал. 278

Нехай, наприклад, на столі лежить тіло (мал. 278). З якою силою воно діє на стіл ($\vec{F} = m\vec{g}$), з такою самою за значенням силою стіл діє на тіло $\vec{N}$. Математично це записують так: $\vec{F} = -\vec{N}$. Знак «–» указує протилежність напрямків дії цих сил.

Третій закон Ньютона справджується не тільки для нерухомих, але й для рухомих тіл.

Проте рівність сил не завжди обумовлена третім законом. Слід розрізняти сили взаємодії, прикладені до різних взаємодіючих тіл, і так звані рівнодійні сили, що діють на одне тіло. Сили взаємодії підкоряються третьому закону Ньютона, а сили, що діють на одне тіло, підкоряються другому закону. Щоб розібратися в цьому докладніше, розглянемо такий приклад.

На поверхні Землі лежить тіло (мал. 279). На тіло діє сила $m\vec{g}$, з якою його притягує Земля. Але згідно з третім законом Ньютона і тіло притягує до себе Землю з такою самою за значенням, але протилежно напрямленою силою $(m\vec{g})_1$. Отже, $m\vec{g} = -(m\vec{g})_1$ згідно з третім законом Ньютона.



Мал. 279

Окрім гравітаційної взаємодії Землі і тіла, між ними існує ще й пружна: з якою силою тіло тисне на Землю, з такою самою силою і Земля тисне на тіло, тобто $\vec{N} = -\vec{N}_1$ згідно з третім законом Ньютона.

Таким чином, на тіло діють дві сили: $m\vec{g}$ і $\vec{N}$. Для цих сил, оскільки вони прикладені до одного тіла, можна записати другий закон Ньютона:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}.$$

Тіло перебуває у спокої, тобто $\vec{a} = 0$. Тому $m\vec{g} = -\vec{N}$. Цю рівність сил доведено на основі другого закону Ньютона.

На Землю також діють дві сили: $\vec{N}_1$ і $(m\vec{g})_1$. Вони зрівноважені, тобто $\vec{N}_1 = -(m\vec{g})_1$. Ця рівність так само є наслідком застосування другого закону.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які системи відліку називають інерціальними? Неінерціальними?
2. Сформулюйте перший закон Ньютона.
3. У якій системі відліку виконується перший закон Ньютона? Чи можна вважати, що він виконується в будь-якій системі відліку?
4. Сформулюйте другий закон Ньютона.
5. Що можна сказати про напрям сили і прискорення, якого сила надає тілу?
6. Як можна виміряти силу, спираючись на другий закон Ньютона?
7. Чи можна, виходячи з формули $F = ma$, стверджувати, що сила, прикладена до тіла, залежить від маси тіла і від його прискорення?
8. Використовуючи другий закон Ньютона, сформулюйте перший закон Ньютона.
9. Сформулюйте третій закон Ньютона і запишіть його формулу.
10. Якими дослідами можна перевірити третій закон Ньютона?
11. Як напрямлені прискорення, що отримують тіла під час їх взаємодії?

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Велосипедист рухається зі швидкістю 5 м/с. З якою швидкістю рухався пішохід, що вийшов з того самого місця на 1 год раніше, якщо велосипедист наздогнав його через 30 хв після початку свого руху?

Дано:

$v_1 = 5$ м/с
$t = 1$ год $= 3600$ с
$t_1 = 30$ хв $= 1800$ с

v – ?

Розв'язання

Велосипедист і пішохід подолали однакову відстань, отже: $v_1 t_1 = v(t + t_1)$. Звідси $v = \dfrac{v_1 t_1}{t + t_1}$.

Підставимо значення відомих величин і отримаємо:

$$v = \frac{5 \text{ м/с} \cdot 1800 \text{ с}}{3600 \text{ с} + 1800 \text{ с}} \approx 1{,}7 \text{ м/с}.$$

Відповідь: $v \approx 1{,}7$ м/с.

2. Яке з поданих тверджень найточніше виражає другий закон Ньютона?

А Сила, що діє на тіло, дорівнює добутку маси тіла і прискорення, наданого тілу цією силою.

Б Прискорення, якого набуває тіло, прямо пропорційне рівнодійній усіх сил, що прикладені до цього тіла, і обернено пропорційне масі тіла.

В Рівнодійна всіх сил, що діють на тіло, дорівнює добутку маси тіла і прискорення, наданого тілу цією рівнодійною силою.

Відповідь: твердження Б найточніше відображає другий закон Ньютона.

Рівень А

221. Автомобіль з вимкненим двигуном проїхав до повної зупинки по рівній горизонтальній дорозі ще якийсь час. Чи можна стверджувати, що весь час він рухався за інерцією?

222. Тіло рухається зі сталою швидкістю під дією кількох сил. Чи можна цей стан тіла розглядати як рух за інерцією?

223. Людина, упираючись руками у стіну вагона, хоче зрушити його з місця. Проте вагон зберігає стан спокою. Поясніть чому.

224. З яким прискоренням рухається автомобіль, якщо його швидкість за 6 с збільшилася від 144 км/год до 216 км/год?

225. За який час ракета набуває першої космічної швидкості 7,9 км/с, якщо вона рухається з прискоренням 50 м/с^2?

226. Як установиться поверхня бензину в цистерні під час рівномірного, прискореного й сповільненого руху потяга?

227. Сила 200 Н діє на тіло масою 5 кг. Визначте прискорення, з яким рухається тіло.

228. Визначте масу тіла, якому сила 5000 Н надає прискорення 0,2 м/с^2.

229. З яким прискоренням рухається тіло масою 300 кг, коли на нього діє сила 1500 Н?

230. Визначте масу тіла, якому сила 500 Н надає прискорення 0,2 м/с^2. Визначте переміщення тіла за 30 с руху із стану спокою.

231. Під дією сили 2,5 кН швидкість автомобіля масою 5 т збільшилася від 54 км/год до 72 км/год. Визначте прискорення, з яким рухався автомобіль, і час розгону.

232. Протягом 30 с людина жердиною відштовхує від пристані баржу, прикладаючи зусилля 400 Н. На яку відстань від пристані відпливе баржа, якщо її маса 300 т?

233. На два тіла діють рівні сили. Перше тіло має масу 50 г і рухається з прискоренням 1 м/с^2. Друге тіло рухається з прискоренням 1 см/с^2. Яка маса другого тіла?

234. Сила тяги, що діє на автомобіль, дорівнює 1 кН, а опір рухові – 0,5 кН. Чи не суперечить це третьому закону Ньютона?

235. Барон Мюнхгаузен переконував, що сам себе витягнув за чуба з болота. Чому це неможливо?

236. Лінкор, зіткнувшися з маленьким пароплавом, може потопити його і майже не отримати при цьому пошкоджень. Чи не суперечить це третьому закону Ньютона?

237. Хлопчик і дівчинка тягнуть за динамометр у протилежні боки. Які покази динамометра, якщо хлопчик тягне із силою 300 Н, а дівчинка – 200 Н?

Рівень Б

238. Візок, рухаючись зі стану спокою під дією сили, пройшов шлях 40 м за деякий час. Коли на візок поклали тягарець масою 20 г, то під дією тієї самої сили він за той самий час пройшов шлях 20 см. Яка маса візка?

239. Чи можна стверджувати, що інерція одного з двох неоднакових тіл більша або менша? Відповідь поясніть.

240. На основі тривалої історії вивчення Всесвіту можна побачити, що в кожній картині світу виділяють три складових елементи: 1) уявлення про матеріальну першооснову (про природу спостережуваних об'єктів); 2) уявлення про механізм спостережуваних об'єктів (про механізм здійснення процесів, явищ, у яких беруть участь спостережувані об'єкти); 3) уявлення про структуру, масштаби, способи існування (стаціонарність, змінність, розвиток) цілого. Чим відрізняється механічна картина світу від електромагнітної?

241. Стоячи у вагоні потяга, що рухається рівномірно, ви підстрибнули. Чи опуститеся ви на те саме місце, звідки підстрибнули, відносно вагона? Відносно залізничного полотна? Яка із цих двох систем відліку є інерціальною? Чи є інерціальною системою карусель, штучний супутник Землі?

242. Порівняйте прискорення двох кульок однакового радіуса під час взаємодії, якщо першу кульку зроблено зі сталі, а другу – зі свинцю.

243. Електричне поле надає електрону прискорення 2000 км/с^2. Яке прискорення це поле буде надавати протону, якщо відомо, що маса протона приблизно у дві тисячі разів більша за масу електрона?

244. Сила F надає тілу масою m_1 прискорення 2 м/с^2, а тілу масою m_2 – прискорення 3 м/с^2. Якого прискорення під дією тієї самої сили набудуть обидва тіла, коли їх з'єднати одне з одним?

245. На тіло масою 1 кг подіяла сила 10 Н. Через який час модуль прискорення тіла буде 10 м/с^2? Яке за значенням прискорення в той момент, коли сила тільки-но почала діяти на тіло? Відповідь обґрунтуйте.

246. Під дією якої постійної сили тіло масою 300 г, що знаходилось у стані спокою, протягом 5 с пройде шлях 25 м?

247. Пасажирський потяг масою 400 т рухається зі швидкістю 40 км/год. Визначте силу гальмування, якщо гальмівний шлях потяга 200 м.

248. У таблиці наведено дані, одержані під час вивчення залежності прискорення тіла від прикладеної до нього сили при незмінній масі. Побудуйте графік; зробіть висновок про досліджувану залежність.

F, кН	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
a, м/с^2	0	0,16	0,3	0,44	0,6	0,75	0,9

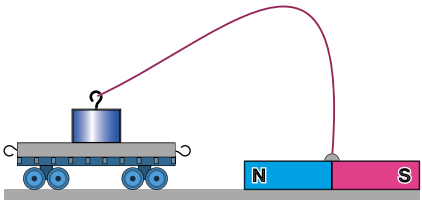
249. З яким прискоренням падають тіла на Марсі, якщо сила притягання тіл на його поверхні у 2,8 раза менша від сили притягання таких самих тіл на Землі?

250. М'яч масою 0,5 кг після удару, що тривав 0,2 с, набуває швидкості 10 м/с. Визначте середню силу удару.

251. Потяг масою 500 т після припинення тяги локомотива під дією сили тертя, яка дорівнює 98 кН, зупиняється через 1 хв. З якою швидкістю їхав потяг?

252. Вагон масою 20 т рухається рівносповільнено, маючи початкову швидкість руху 54 км/год і прискорення 0,3 м/с^2. Яка сила гальмування діє на вагон? Через який час вагон зупиниться? Який шлях вагон пройде до зупинки?

253. Чи можна привести в рух сталевий візок за допомогою магніту, прикріпленого так, як показано на малюнку 280?



Мал. 280

254. Чи однаково буфери стискуються під час зіткнення двох пасажирських залізничних вагонів, якщо: 1) один з них перебуває у спокої; 2) обидва рухаються; 3) один вагон заповнений пасажирами, а другий порожній? Жорсткість буферних пружин у вагонів однакова.

255. З погляду фізики дію не можна відрізнити від протидії. Поясніть чому.

256. Якщо сили, з якими взаємодіють тіло і динамометр під час зважування, не зрівноважуються (бо прикладені до різних тіл), то чому тіло і динамометр після певного видовження його пружини нерухомі?

§ 34. ЗАКОН ВСЕСВІТНЬОГО ТЯЖІННЯ. ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ. РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ СИЛИ ТЯЖІННЯ

Усі тіла Всесвіту, як небесні, так і ті, що знаходяться на Землі, взаємно притягуються. Навіть якщо ми не помічаємо притягання між звичайними предметами, що оточують нас у повсякденному житті (наприклад, між книжками, зошитами, меблями тощо), то це тому, що воно в таких випадках дуже слабке.

Взаємодію, яка властива всім тілам Всесвіту і проявляється взаємним притяганням одне до одного, називають *гравітаційною*, а саме явище всесвітнього тяжіння – *гравітацією* (лат. *gravitas* – «тяжкість»).

Гравітаційна взаємодія здійснюється за допомогою особливого виду матерії, який називають **гравітаційним полем**. Таке поле існує навколо будь-якого тіла – планети, каменя, людини або аркуша паперу. При цьому тіло, що створює гравітаційне поле, діє ним на будь-яке інше тіло так, що в того з'являється прискорення, завжди напрямлене до джерела поля. Поява такого прискорення і означає, що між тілами виникає притягання.

Гравітаційне поле не слід плутати з електромагнітними полями, які існують навколо наелектризованих тіл, провідників зі струмом і магнітів.

Цікавою особливістю гравітаційного поля, якої не мають електромагнітні поля, є його всепроникна здатність. Якщо від електричних і маг-

нітних полів можна захиститися за допомогою спеціальних металевих екранів, то від гравітаційного поля захиститися нічим не можна: воно проникає крізь будь-які матеріали.

Вираз для сили тяжіння Ісаак Ньютон отримав ще в 1666 р., коли йому було лише 24 роки. Спочатку вчений установив, як залежить від відстані прискорення вільного падіння. Він помітив, що поблизу поверхні Землі, тобто на відстані 6400 км від її центра, це прискорення складає 9,8 м/с^2, а на відстані, у 60 разів більшій, біля Місяця, це прискорення виявляється у 3600 разів меншим, ніж на Землі. Але $3600 = 60^2$. Отже, прискорення вільного падіння зменшується обернено пропорційно до квадрата відстані від центра Землі. Але прискорення, за другим законом Ньютона, пропорційне силі. Отже, причиною такого зменшення прискорення є аналогічна залежність сили тяжіння від відстані.

Остаточну формулу сили притягання можна отримати, якщо врахувати, що ця сила повинна бути пропорційна масам тіл m_1 і m_2. Таким чином,

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

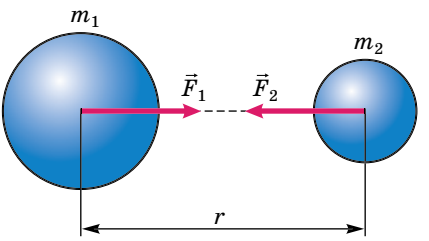
де G – коефіцієнт пропорційності, який називають **гравітаційною сталою.**

Так, Ньютон знайшов вираз для сили гравітаційної взаємодії Землі з тілами, що притягалися нею. Але інтуїція підказувала йому, що за отриманою формулою можна розраховувати і силу тяжіння, що діє між будь-якими іншими тілами Всесвіту, якщо тільки їх розміри малі порівняно з відстанню r між ними. Тому він почав розглядати отриманий вираз як **закон всесвітнього тяжіння**, який справджується і для небесних тіл, і для тіл на Землі.

Сила гравітаційного притягання будь-яких двох частинок прямо пропорційна добутку їх мас і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$\boldsymbol{F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}}.$$

Закон всесвітнього тяжіння сформульовано для частинок, тобто для таких тіл, розміри яких значно менші за відстань r між ними. Проте одна особливість цього закону дає змогу використовувати його і в деяких інших випадках. Такою особливістю є обернено пропорційна залежність сили притягання саме від квадрата відстані між частинками, а не від третього, скажімо, або четвертого степеня відстані. Розрахунки показують, що завдяки цій особливості формулу $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ можна застосовувати ще й для розрахунку сили притягання кулястих тіл зі сферично симетричним розподілом речовини, що перебувають на будь-якій відстані одне від одного. Під r у цьому випадку слід розуміти не відстань між ними, а відстань між їхніми центрами (мал. 281).



Мал. 281

Формула $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ справджується і для випадку, коли сферичне тіло довільних розмірів взаємодіє з деякою матеріальною точкою. Це й дає змогу застосовувати формулу закону всесвітнього тяжіння для розрахунку сили, з якою земна куля притягує до себе навколишні тіла.

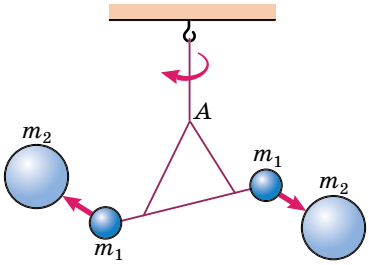
Коли Ньютон відкрив закон всесвітнього тяжіння, він не знав жодного числового значення мас небесних тіл, у тому числі й Землі. Невідомо йому було і значення сталої.

Разом з тим **гравітаційна стала** G має для всіх тіл Всесвіту одне й те саме значення і є однією з фундаментальних фізичних констант. *Яким же чином можна визначити її значення?*

Із закону всесвітнього тяжіння виходить, що $G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2}$. Щоб визначити G, потрібно виміряти силу притягання F між тілами відомих мас m_1 і m_2 та відстань r між ними.

Перші вимірювання гравітаційної сталої було здійснено в середині XVIII ст. Оцінити, правда дуже грубо, значення G у той час удалося в результаті розгляду притягання маятника до гори, масу якої було визначено за допомогою геологічних методів.

Точні вимірювання гравітаційної сталої вперше здійснив у 1798 р. **Генрі Кавендіш** – англійський фізик, член Лондонського королівського товариства. За допомогою так званих крутильних терезів (мал. 282) учений по куту закручування нитки A зумів виміряти мізерно малу силу притягання між маленькими і великими металевими кулями. Для цього йому довелося використовувати дуже чутливі прилади, тому що навіть слабкі повітряні потоки могли спотворити вимірювання. Щоб уникнути сторонніх впливів, Кавендіш розмістив свої прилади в ящику, який залишив у кімнаті, а сам проводив спостереження за приладами за допомогою телескопа з іншого приміщення.



Мал. 282

Досліди показали, що $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н $\cdot$ м^2/кг^2.

Фізичний зміст гравітаційної сталої полягає в тому, що вона визначається силою, з якою притягуються два тіла масами по 1 кг кожне, які перебувають на відстані 1 м одне від одного.

Якщо на тіло діє тільки одна сила, напрямлена вниз (а всі інші врівноважені), то воно здійснює **вільне падіння**. Прискорення вільного падіння можна визначити, застосувавши другий закон Ньютона:

$$g = \frac{F}{m} = G\frac{Mm}{R^2 m} = G\frac{M}{R^2}.$$

Звідси видно, що **прискорення вільного падіння $\vec{g}$ не залежить від маси m тіла**, а отже, воно однакове для всіх тіл. Така дивовижна властивість сили всесвітнього тяжіння, а значить, і сили тяжіння. Її дослідним

шляхом виявив ще Галілей. Дивовижна тому, що за другим законом Ньютона прискорення тіла має бути обернено пропорційним до маси. Але сама сила тяжіння пропорційна масі тіла, на яке вона діє. Саме тому прискорення вільного падіння однакове для всіх тіл.

Тепер для сили тяжіння можна записати вираз: $\vec{F} = m\vec{g}$.

По суті, формула $g = G\frac{M}{R^2}$, як і другий закон Ньютона, справджується, коли вільне падіння розглядається відносно інерціальної системи відліку.

Приведені значення показують, що прискорення вільного падіння в різних районах земної кулі відрізняється дуже мало від значення, обчисленого за формулою $g = G\frac{M}{R^2}$, $g = 9{,}83$ м/с^2.

Тому при грубих розрахунках нехтують неінерціальністю системи відліку, пов'язаної з поверхнею Землі, і відмінністю форми Землі від сферичної. Прискорення вільного падіння вважають усюди однаковим і обчислюють за формулою $g = G\frac{M}{R^2}$.

У деяких районах земної кулі прискорення вільного падіння відрізняється від приведеного вище значення ще з однієї причини. Такі відхилення спостерігаються в тих місцях, де в надрах Землі залягають породи, густина яких більша або менша за середню густину Землі. Там, де є поклади порід, що мають більшу густину, значення g більше. Це дає змогу геологам за вимірюваннями значення g знаходити родовища корисних копалин.

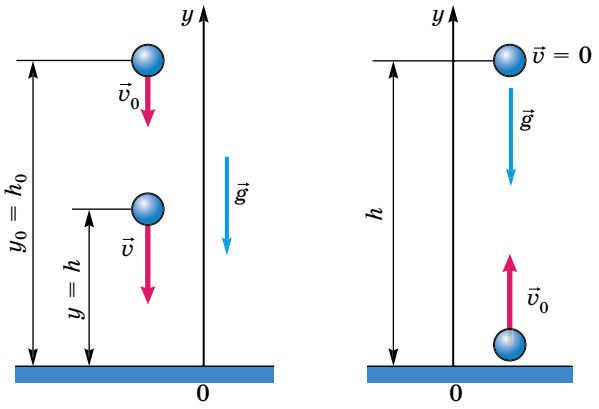
Отже, сила тяжіння, а значить, і прискорення вільного падіння змінюються з віддаленням від поверхні Землі. Якщо тіло перебуває на висоті h над поверхнею Землі, то вираз для модуля прискорення вільного падіння g потрібно записувати так:

$$g = G\frac{M}{(R+h)^2}.$$

Так, на висоті 300 км прискорення вільного падіння зменшується на 1 м/с^2. Із цієї формули видно, що для висот над Землею в кілька десятків або сотень метрів, навіть багатьох кілометрів, сила тяжіння може вважатися сталою, незалежно від положення тіла. Тільки тому вільне падіння поблизу Землі й можна вважати **рівноприскореним рухом**.

Рух тіла під дією сили тяжіння: тіло рухається по вертикалі. Якщо надати тілу початкової швидкості $\vec{v}_0$, напрямленої вгору, то це не змінить ні напрямку, ні значення прискорення тіла, бо поштовх угору не може змінити силу тяжіння. В обох випадках траєкторією тіла є вертикальна пряма.

Розв'язуючи задачі на такий рух, за тіло відліку зручно вибирати Землю з початком відліку на її поверхні або в будь-якій точці вище чи нижче від поверхні, а координатну вісь спрямовувати по вертикалі вгору чи вниз. Висоту тіла над певною поверхнею прийнято позначати літерою h (мал. 283).



Мал. 283

Тоді координата y тіла – це просто його висота h над точкою початку відліку. Проекція вектора переміщення тіла відповідає зміні висоти і дорівнює $h - h_0$, де h_0 – початкова висота.

Формули для обчислення координат (висот) і швидкостей нічим не відрізняються від формул для прямолінійного рівноприскореного руху.

Координата тіла (висота):

$$y = h_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Швидкість тіла в будь-який момент часу:

$$v_y = v_{0y} + g_y t.$$

Швидкість тіла в будь-якій точці траєкторії:

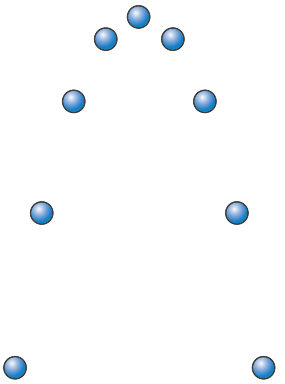
$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2g_y(h - h_0).$$

Проекція g_y додатна, якщо вісь Oy напрямлена вниз, і від'ємна, якщо вісь Oy напрямлена вгору. Проекції v_{0y} і v_y додатні, якщо вектори швидкостей напрямлені вздовж осі Oy, і від'ємні, якщо вектори швидкостей напрямлені протилежно до осі Oy.

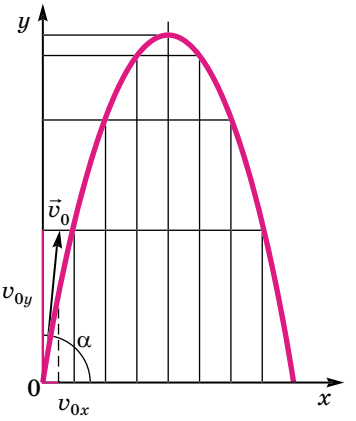
Рух тіла під дією сили тяжіння: початкова швидкість тіла напрямлена під кутом до горизонту. Часто доводиться розглядати рухи тіл, початкова швидкість яких не паралельна силі тяжіння, а напрямлена під певним кутом до неї (або до горизонту). Коли, наприклад, спортсмен штовхає ядро, кидає диск або спис, він надає цим предметам саме такої швидкості. Під час артилерійської стрільби стволи гармат мають певний кут піднімання, так що снаряд у стволі також отримує початкову швидкість, напрямлену під кутом до горизонту.

Вважатимемо, що силою опору повітря можна знехтувати. *Як у цьому випадку рухається тіло?*

На малюнку 284 показано стробоскопічний знімок кульки, яку кинуто під кутом 60° до горизонту. Сполучивши послідовні положення кульки плавною кривою, отримаємо траєкторію руху кульки – параболу.



Мал. 284



Мал. 285

Якщо знехтувати впливом повітря на рух тіла, то на тіло, кинуте під кутом до горизонту, як і на тіло, що вільно падає, або на тіло, що отримало початкову швидкість, напрямлену вертикально, діє тільки сила тяжіння. Хоч би як тіло рухалось, сила тяжіння може надати йому тільки прискорення $\vec{g}$, яке напрямлене вниз. Цим визначаються і траєкторія руху тіла та характер його руху.

Припустимо, що з деякої точки O кинуто тіло з початковою швидкістю $\vec{v}_0$, напрямленою під кутом α до горизонту. Візьмемо за початок відліку координат точку, з якої кинуто тіло, а за початок відліку часу – момент кидання. Вісь Ox спрямуємо горизонтально, а вісь Oy – вертикально вгору (мал. 285). З малюнка бачимо, що проекції вектора $\vec{v}_0$ на осі Ox і Oy відповідно дорівнюють:

$$v_{0x} = v_0 \cos\alpha; \; v_{0y} = v_0 \sin\alpha.$$

Оскільки на тіло діє сила тяжіння, то під час руху тіла змінюватиметься тільки проекція v_{0y}, а проекція v_{0x} не змінюватиметься. Тому координата x тіла з плином часу змінюється так само, як під час прямолінійного рівномірного руху:

$$x = v_{0x}t.$$

А координата y змінюється так само, як під час прямолінійного рівноприскореного руху:

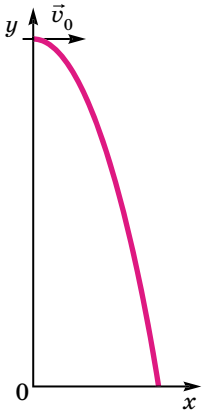
$$y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Щоб знайти траєкторію руху тіла, треба підставити в рівняння значення часу t, які послідовно збільшуються, і обчислити координати x і y для кожного значення t, якщо відомі значення модуля початкової швидкості v_0 і кута α. За знайденими значеннями x і y наносимо точки, що зображають послідовні положення тіла. Сполучаючи їх плавною кривою, отримаємо траєкторію руху тіла. Вона буде подібна до тієї, що зображено на малюнку 285.

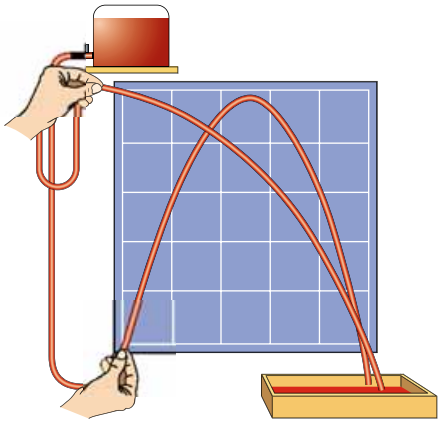
Тіло кинуто горизонтально. Тіло можна кинути й так, що його початкова швидкість $\vec{v}_0$ буде напрямлена горизонтально ($\alpha = 0$). Наприклад, так напрямлена початкова швидкість тіла, що відірвалося від літака, який летить

горизонтально. Легко з'ясувати, по якій траєкторії рухатиметься таке тіло. Для цього звернемося знову до малюнка 285, на якому зображено траєкторію руху тіла, кинутого під кутом α до горизонту. У найвищій точці параболи швидкість тіла якраз і напрямлена горизонтально. А за цією точкою тіло рухається по правій гілці параболи. Очевидно, що й будь-яке тіло, кинуте горизонтально, також рухатиметься по гілці параболи (мал. 286).

Траєкторію руху тіл, кинутих горизонтально чи під кутом до горизонту, можна наочно вивчити на простому досліді. Посудину, заповнену водою, розміщують на певній висоті над столом і з'єднують її гумовою трубкою з наконечником, що має кран (мал. 287). Випущені струмені води безпосередньо показують траєкторії частинок води. Таким способом можна спостерігати траєкторію для різних значень кута α і швидкості v_0.



Мал. 286



Мал. 287

Ми розглянули кілька прикладів руху тіл під дією сили тяжіння. В усіх випадках тіло рухається з прискоренням вільного падіння, яке не залежить від того, чи мало тіло ще й швидкість у горизонтальному напрямку, чи ні.

Тому, наприклад, куля, випущена стрільцем з гвинтівки в горизонтальному напрямку, упаде на землю одночасно з кулею, яку випадково впустив стрілець у момент пострілу. Але друга куля впаде біля ніг стрільця, а куля, що вилетіла зі ствола гвинтівки, – на відстані кількох сотень метрів від нього.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають рівноприскореним?
2. Сформулюйте закон всесвітнього тяжіння.
3. Який фізичний зміст гравітаційної сталої?
4. Якого значення може набувати гравітаційна стала?
5. Що таке прискорення вільного падіння? Чи залежить воно від маси тіла?
6. Які вчені працювали над вивченням гравітаційного поля?
7. З яким прискоренням рухається тіло, яке вільно падає? Тіло, кинуте вгору?
8. Що спільного в русі тіл, кинутих вертикально (вгору або вниз), горизонтально і під кутом до горизонту?
9. По якій траєкторії рухається тіло, кинуте під кутом до горизонту?

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Спроби пояснити спостережувану картину світу, і перш за все будову Сонячної системи, робило багато вчених. *Що пов'язує планети і Сонце в єдину систему? Яким законам підкоряється їхній рух?*

У II ст. н. е. давньогрецький учений Клавдій Птоломей розробив геоцентричну систему світу, згідно з якою всі спостережувані переміщення небесних світил пояснювалися їх рухом навколо нерухомої Землі.

У XVI ст. польський астроном Міколай Коперник запропонував геліоцентричну систему світу: у центрі перебуває Сонце, а навколо нього рухаються планети та їхні супутники. *Що ж утримує планети, зокрема Землю, коли вони рухаються навколо Сонця?*

Якщо дотримуватися переконань Арістотеля і пов'язувати силу притягання тіл зі швидкістю їх руху, а не з прискоренням, то причиною руху планет є саме напрямок швидкості.

Натомість Ньютон пов'язав силу з прискоренням. Саме силу притягання Сонця природно вважати причиною обертання навколо нього Землі і планет.

Але не тільки планети притягуються до Сонця. Сонце також притягується планетами. Та й самі планети взаємодіють між собою. Одним з перших, хто це зрозумів, був англійський учений Роберт Гук. Так, у 1674 р. він писав: «Усі небесні тіла мають притягання, або силу тяжіння до свого центру, унаслідок чого вони не тільки притягають власні частини і перешкоджають їм розлітатися, як спостерігаємо на Землі, але притягають також усі інші небесні тіла, що перебувають у сфері їх дії. Тому не тільки Сонце і Місяць мають вплив на рух Землі, але і Меркурій, і Венера, і Марс, і Юпітер, і Сатурн також своїм притяганням мають значний вплив на її рух. Подібним чином і Земля відповідним притяганням впливає на рух кожного із цих тіл».

У своїй праці «Математичні начала натуральної філософії» Ньютон сформулював три фундаментальних закони (відомі як закони Ньютона). Відповідно до цих законів усі тіла Всесвіту, як небесні, так і ті, що перебувають на Землі, схильні до взаємного тяжіння, причому сили, з якими притягуються всі ці тіла, мають однакову природу і підкоряються одному й тому самому закону.

Згідно з легендою, думка про всесвітнє тяжіння осяяла Ньютона в той момент, коли він, відпочиваючи у своєму саду, побачив яблуко, що падає. Розповідають навіть, що знаменитій яблуні, плід якої зумів так «вчасно» впасти до ніг Ньютона, не дали зникнути безслідно і шматочки цього дерева нібито зберігаються в Англії й нині.

Відкриття закону всесвітнього тяжіння дало змогу Ньютону створити теорію руху небесних тіл, засновану на строгих математичних доведеннях. Нічого подібного в науці до того часу не було.

Ця теорія, безперечно, вразила сучасників Ньютона, але в них виникло запитання: *чому всі тіла притягуються одне до одного?* Відповіді на нього видатний фізик не дав. «Причину ж властивостей сили притягання я до цього часу не міг вивести з явищ, а гіпотез я не вигадую, – писав він у своїх "Математичних началах…". – Досить того, що притягання насправді існує, і діє згідно з викладеним законом, та є цілком достатнім для пояснення всіх рухів небесних тіл і моря».

Кажучи про море, Ньютон мав на увазі явище припливів, які обумовлені притяганням води Місяцем і Сонцем. За дві тисячі років до Ньютона над причинами цього явища розмірковував Арістотель, який, проте, пояснити його не зміг. Для філософа це виявилося трагедією. «Спостерігаючи тривалий час це явище зі скелі Негропонта, він, охоплений відчаєм, кинувся в море і знайшов там добровільну смерть», – стверджував Г. Галілей.

§ 35. РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ

У 7-му класі ви розглядали рух тіла, на яке діє тільки одна сила – сила пружності, сила тяжіння чи сила тертя. Насправді такі рухи в земних умовах майже ніколи не відбуваються. Це випливає вже з того, що поряд із силами пружності або тяжіння завжди діє сила тертя.

Ви знаєте, якщо тіло рухається рівномірно прямолінійно, то на нього діють сили, які компенсуються. Якщо до тіла прикладено кілька сил і рівнодійна сила буде напрямлена в бік руху, то тіло рухатиметься рівноприскорено, а якщо в протилежний бік – рівносповільнено.

Якщо розв'язувати задачі з механіки, коли на тіло діє кілька сил, то слід нагадати, що в рівнянні, яке виражає другий закон Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$, $\vec{F}$ – це векторна сума всіх сил, прикладених до тіла. Векторне додавання сил можна замінити алгебраїчним додаванням їх проекцій на координатні осі.

Починаючи розв'язувати задачу, треба спочатку вибрати напрямок координатних осей та зобразити на малюнку вектори всіх сил і вектор прискорення тіла, якщо відомо його напрямок. Потім треба знайти проекції всіх векторів на ці осі координат. Нарешті, записати рівняння другого закону Ньютона для проекцій на кожну вісь і розв'язати разом знайдені рівняння.

Часто буває так, що в русі беруть участь кілька тіл, так чи інакше пов'язаних між собою, як кажуть, **система тіл**. Прикладом такого руху може бути рух спортсмена на водних лижах, який прямує за катером, або рух вантажів на нитці, перекинутих через блок. При цьому на кожне з тіл можуть діяти кілька сил. Як у таких випадках розв'язувати задачі? Загальний порядок розв'язування задач залишається таким, як розглядався вище. З тією лише відмінністю, що його треба застосувати до кожного з тіл системи: рівняння другого закону Ньютона записують для кожного з тіл системи спочатку у векторній формі, а потім у скалярній (для проекцій) і розв'язують разом знайдені рівняння.

У випадку, якщо сума сил, що діють на тіло, дорівнює нулю, у формулі $\vec{F} = m\vec{a}$ під $\vec{F}$ розуміють рівнодійну всіх прикладених до тіла сил, тобто векторну суму всіх сил. З формули бачимо, що коли $\vec{F} = 0$, то й прискорення $\vec{a} = 0$. Про тіло, яке не має прискорення, кажуть, що воно перебуває у стані **рівноваги**. Таке тіло може рухатися прямолінійно і рівномірно, але може перебувати також у спокої. Саме про це йдеться у першому законі Ньютона. Якщо прямолінійний рівномірний рух трапляється рідко, то з нерухомими відносно якоїсь системи відліку тілами маємо справу часто. Будь-яке тіло, що перебуває у спокої, наприклад, відносно Землі, перебуває в стані рівноваги. Сума сил, прикладених до нього, дорівнює нулю. Можна також сказати, що **тіло перебуває в рівновазі, якщо сума проекцій усіх сил на будь-яку вісь дорівнює нулю**. У цьому полягає **умова рівноваги тіла** (точки).

Задача 1. Пружина одним кінцем прикріплена до бруска масою 0,6 кг, який розміщено на гладенькому горизонтальному столі. Вільний кінець пружини почали переміщувати прямолінійно вздовж стола з прискоренням 0,2 м/с^2. Визначте жорсткість пружини, якщо вона розтягнулася на 2 см. Масою пружини знехтувати.

Дано:

$m = 0{,}6$ кг

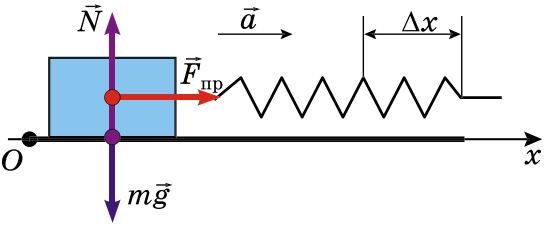
$a = 0{,}2$ м/с^2

$x = 2$ см $= 0{,}02$ м

k – ?

Розв'язання

Виконаємо малюнок.



На брусок діють: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила реакції опори $\vec{N}$ і сила пружності $\vec{F}_{\text{пр}}$. Рівнодійна цих сил надає тілу прискорення $\vec{a}$.

Запишемо другий закон Ньютона у векторній формі:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{пр}} = m\vec{a}.$$

Виберемо вісь Ox і знайдемо проекції на неї векторів. Врахувавши, що $F_{\text{пр}} = -k\Delta x$, отримаємо: $k\Delta x = ma$. Звідси

$$k = \frac{ma}{\Delta x}.$$

Підставивши значення відомих величин, визначимо:

$$k = \frac{0{,}6 \text{ кг} \cdot 0{,}2 \text{ м/с}^2}{0{,}02 \text{ м}} = 6 \text{ Н/м}.$$

Відповідь: жорсткість пружини дорівнює 6 Н/м.

Задача 2. По горизонтальній дорозі тягнуть за мотузок під кутом 30° вантаж, загальна маса якого 80 кг. Сила натягу 50 Н. Визначте коефіцієнт тертя ковзання, якщо вантаж рухається з прискоренням 0,15 м/с^2.

Дано:

$m = 80$ кг

$\alpha = 30°$

$F = 50$ Н

$a = 0{,}15$ м/с^2

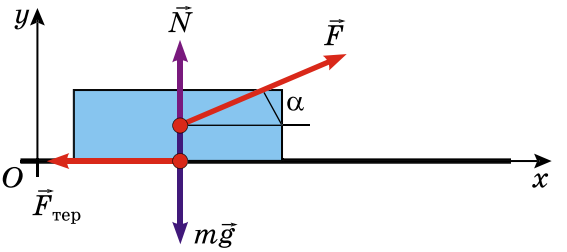
μ – ?

Розв'язання

На вантаж діють сили: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила реакції дороги $\vec{N}$, сила тяги $\vec{F}$ і сила тертя $\vec{F}_{\text{тер}}$.

Вантаж рухається рівноприскорено.

Виконаємо малюнок, зв'язавши систему координат із Землею.



Запишемо другий закон Ньютона для вантажу у векторній формі:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}}.$$

У проекціях на координатні осі це рівняння матиме вигляд:

$$Ox\colon\ ma = F\cos\alpha - F_{\text{тер}};$$
$$Oy\colon\ 0 = F\sin\alpha + N - mg.$$

Оскільки $F_{\text{тер}} = \mu N$, виконавши деякі перетворення, складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \mu N = F\cos\alpha - ma, \\ N = mg - F\sin\alpha. \end{cases}$$

Підставимо вираз $mg - F\sin\alpha$ у перше рівняння замість N і виразимо змінну μ:

$$\mu = \frac{F\cos\alpha - ma}{mg - F\sin\alpha}.$$

Врахувавши значення відомих величин, обчислимо:

$$\mu = \frac{50\ \text{Н}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} - 80\ \text{кг}\cdot 0{,}15\ \text{м/с}^2}{80\ \text{кг}\cdot 9{,}8\ \text{м/с}^2 - 50\ \text{Н}\cdot 0{,}5} = 0{,}04.$$

Отримане значення коефіцієнта тертя ковзання приблизно збігається з табличними даними. Отже, задача розв'язана правильно.

Відповідь: $\mu = 0{,}04$.

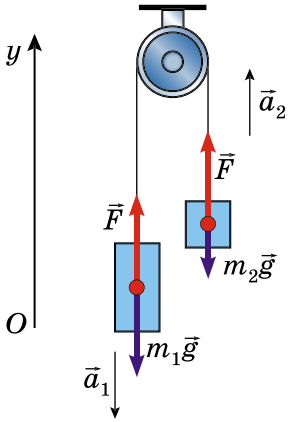
Задача 3. Через нерухомий блок перекинута нитка, до кінців якої прикріплені тіла масами m_1 і m_2, причому $m_1 > m_2$. Вважаючи, що маси нитки і блока малі порівняно з масами m_1 і m_2, визначте прискорення a тіл.

Дано:
m_1
m_2
$m_1 > m_2$
g

a – ?

Розв'язання

Виконаємо малюнок.



У цій задачі ми маємо випадок, коли в русі беруть участь два тіла.

Якщо систему тіл привести в рух, то тіло масою m_1 буде рухатися вниз, а тіло масою m_2 – угору. Прискорення обох тіл, якщо знехтувати

малим розтягом нитки, за модулем однакові: $a_1 = a_2 = a$. Щоб визначити прискорення, запишемо рівняння другого закону Ньютона для кожного тіла.

Координатну вісь Oy направимо по вертикалі вгору.

На тіло масою m_1 буде діяти сила тяжіння $m_1\vec{g}$ і сила натягу $\vec{F}$. Рівняння другого закону Ньютона для нього має вигляд:

$$m_1\vec{g} + \vec{F} = m\vec{a}.$$

З малюнка видно, що проекція $a_{1y} = -a$, а проекція $g_y = -g$. Проекція $F_y = F$. У скалярній формі рівняння другого закону Ньютона записується так:

$$F - m_1g = -m_1a. \qquad (1)$$

На тіло масою m_2 буде діяти сила тяжіння $m_2\vec{g}$ і сила нятягу $\vec{F}$ (така сама, як і на тіло масою m_1). Проекція $a_{2y} = a$, проекція $g_y = -g$ і проекція $F_y = F$. Рівняння другого закону Ньютона в скалярній формі має вигляд:

$$F - m_2g = m_2a. \qquad (2)$$

Віднімемо від другого перше рівняння:

$$m_2a - (-m_1a) = -m_2g - (-m_1g), \text{ або } (m_1 + m_2)a = (m_1 - m_2)g.$$

Таким чином, для прискорення a отримуємо вираз:

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}g.$$

Різниця $m_1 - m_2$ менша, ніж сума $m_1 + m_2$, отже, прискорення a буде меншим за прискорення вільного падіння g.

Блоки іноді й використовують для того, щоб змусити тіло падати з прискоренням меншим, ніж g. На цьому ґрунтується застосування противаги в ліфтах та інших підйомних механізмах.

Задача 4. Тіло рухається вниз по похилій площині, кут нахилу якої 45° до горизонту. Коефіцієнт тертя 0,4. Визначте прискорення руху тіла.

Дано:
$\alpha = 45°$
$\mu = 0{,}4$

$a - ?$

Розв'язання

На це тіло діє Земля, яка притягує його із силою $m\vec{g}$, що прикладена до центра тіла і напрямлена вертикально вниз.

Крім того, на тіло діє похила площина із силою $\vec{N}$, яка прикладена до дотичної поверхні тіла і напрямлена перпендикулярно до його нижньої поверхні. На тіло діє також сила тертя $\vec{F}_{\text{тер}}$, яка напрямлена у протилежний бік до руху тіла. Після аналізу і запису умови задачі виконаємо малюнок.

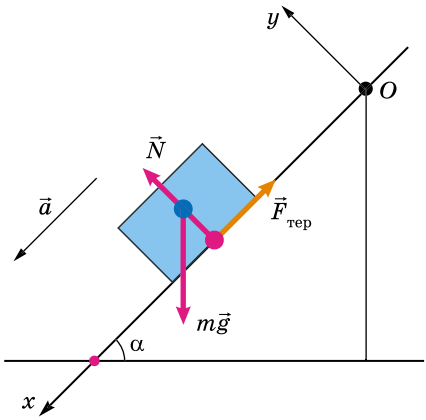
Запишемо другий закон Ньютона у векторній формі:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тер}} = m\vec{a}.$$

У цьому випадку координатні осі найзручніше спрямувати вздовж похилої площини і перпендикулярно до неї. У цьому випадку переміщення вздовж осі Oy під час руху не буде, а отже, прискорення a_y буде дорівнювати нулю.

Запишемо другий закон Ньютона в проекціях на координатні осі.

Проекція сили $\vec{N}$ на вісь Ox дорівнює нулю. Проекція сили $\vec{F}_{\text{тер}}$ буде дорівнювати її значенню, але матиме знак «−», оскільки напрямлена протилежно напрямку осі Ox. Проекція сили $m\vec{g}$ на вісь Ox буде $mg\sin\alpha$. Знак проекції сили $m\vec{g}$ буде додатним, оскільки вона напрямлена в напрямку осі Ox. У проекціях на вісь Ox другий закон Ньютона матиме вигляд:



$$ma = mg\sin\alpha - F_{\text{тер}}.$$

Проекція сили $\vec{F}_{\text{тер}}$ на вісь Oy буде дорівнювати нулю. Проекція сили $\vec{N}$ дорівнюватиме її значенню зі знаком «+». Проекція сили $m\vec{g}$ буде $mg\cos\alpha$ і матиме знак «−». Оскільки $a_y = 0$, то другий закон Ньютона в проекції на вісь Oy запишеться так:

$$-mg\cos\alpha + N = 0.$$

Ці два рівняння містять невідомі: m, a, N, $F_{\text{тер}}$. Для розв'язання задачі потрібно записати ще рівняння з тими самими невідомими, щоб число рівнянь дорівнювало числу невідомих. Тому для розв'язання досить записати вираз:

$$F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg.$$

Врахувавши всі вирази, отримаємо рівняння:

$$ma = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha.$$

Скоротивши на m, отримаємо: $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$.

Підставивши значення, визначимо прискорення руху тіла:

$$a = 9{,}8\ \text{м/с}^2 \cdot (0{,}707 - 0{,}4 \cdot 0{,}707) = 4{,}16\ \text{м/с}^2.$$

Відповідь: 4,16 м/с^2.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як буде рухатися тіло, якщо рівнодійна прикладених до нього сил дорівнюватиме нулю?
2. За яких умов тіло буде рухатися рівноприскорено? Рівносповільнено?

§ 36. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. ІМПУЛЬС. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ

Імпульс тіла — це векторна фізична величина, яка характеризує рух і визначається добутком маси тіла та його швидкості.

Позначають імпульс літерою p. Одиницею імпульсу в СІ є один кілограм-метр за секунду (1 кг · м/с). Математично це записують так:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Імпульс сили — це векторна фізична величина, яка характеризує дію сили за певний інтервал часу.

Визначається добутком середнього значення сили за певний інтервал часу і тривалості цього інтервалу:

$$\vec{p}_F = \vec{F}\Delta t.$$

Імпульсу притаманна дуже цікава й важлива властивість, яку мають небагато фізичних величин. Це **властивість збереження**. Вона полягає в тому, що геометрична сума імпульсів тіл, що взаємодіють тільки одне з одним, зберігається незмінною. Самі імпульси тіл, звичайно, змінюються, оскільки на кожне з тіл діють сили взаємодії, але сума імпульсів залишається незмінною (сталою).

Це твердження називають **законом збереження імпульсу**. Закон збереження імпульсу — один з найважливіших законів природи. Він дуже просто доводиться, якщо взаємодіють одне з одним два тіла. Дійсно, якщо перше тіло діє на друге із силою $\vec{F}$, то на перше тіло друге діє із силою, яка за третім законом Ньютона дорівнює $-\vec{F}$. Позначимо маси тіл через m_1 і m_2, а їх швидкості руху відносно якоїсь системи відліку — через $\vec{v}_1$ і $\vec{v}_2$. У результаті взаємодії тіл їх швидкості через деякий час t зміняться і дорівнюватимуть $\vec{v}_1'$ і $\vec{v}_2'$.

Тоді, згідно з формулою $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$, запишемо:

$$\vec{F}t = m_1\vec{v}_1' - m_1\vec{v}_1,\ -\vec{F}t = m_2\vec{v}_2' - m_2\vec{v}_2.$$

Змінивши знаки обох частин цієї рівності на протилежні, перепишемо її у вигляді:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'.$$

У лівій частині цієї рівності записано суму початкових імпульсів двох тіл, а у правій — суму імпульсів тих самих тіл через час t. Ці суми рівні між собою. Таким чином, хоча імпульс кожного з тіл при взаємодії змінюється, їх повний імпульс, тобто сума імпульсів обох тіл, зберігається незмінним. Що і потрібно було довести.

Можна також довести, і досліди це підтверджують, якщо взаємодіють не два, а багато тіл, то геометрична сума імпульсів усіх тіл або системи тіл залишається незмінною. Важливо тільки, щоб ці тіла взаємодіяли одне з одним і на них не діяли сили з боку інших тіл, що не входять у систему (або щоб ці зовнішні сили врівноважувалися). Таку групу тіл, які не взаємодіють із жодними іншими тілами, що не входять до цієї групи, називають **замкнутою системою**.

Саме для замкнутих систем і справджується **закон збереження імпульсу**:

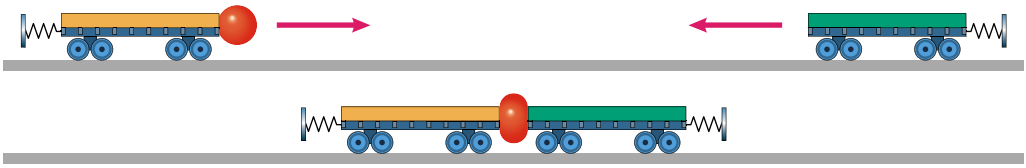
геометрична сума імпульсів тіл, що утворюють замкнуту систему, зберігається сталою під час будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою: $\sum\vec{p}$ = const.

Звідси випливає, що взаємодія тіл зводиться до того, що одні тіла передають частину свого імпульсу іншим.

Імпульс тіла – це векторна величина. Отже, якщо сума імпульсів тіл зберігається сталою, то й сума проекцій цих імпульсів на координатні осі також залишається сталою. Унаслідок цього геометричне додавання імпульсів можна замінити алгебраїчним додаванням їх проекцій.

Закон збереження імпульсу можна проілюструвати такими простими дослідами.

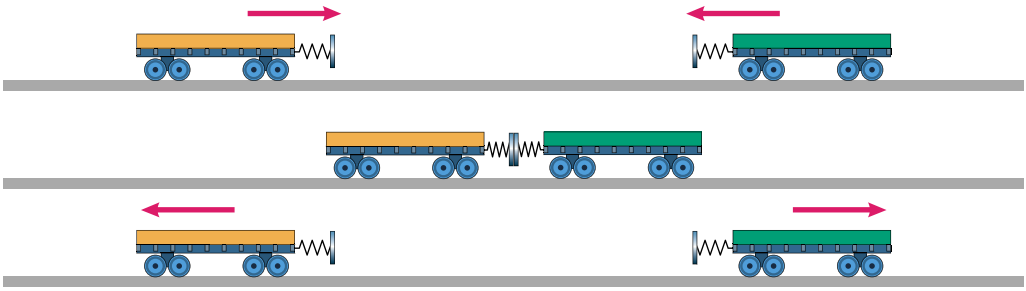
Дослід 1. Поставимо на рейки два візки однакової маси m. До торця одного візка прикріпимо пластилінову кульку. Нехай візки рухаються назустріч один одному з однаковими за модулем швидкостями $\vec{v}$ (мал. 288).



Мал. 288

Під час зіткнення обидва візки зупиняться. Пояснити результати досліду легко. До зіткнення імпульс лівого візка дорівнює $m\vec{v}$, а правого візка $-m\vec{v}$ (візки рухалися з протилежно напрямленими швидкостями). Отже, до моменту зустрічі візків їх загальний імпульс дорівнював нулю: $m\vec{v} + (-m\vec{v}) = 0$. Після зіткнення візки зупинилися. Отже, і тепер сумарний імпульс обох візків дорівнює нулю.

Дослід 2. Повернемо візки один до одного пружинними буферами (мал. 289). Тоді, повторивши дослід, переконаємося в тому, що після зіткнення обидва візки роз'їдуться у протилежні боки. Під час цієї взаємодії швидкості руху візків змінять свої напрямки на протилежні, модулі швидкостей залишаться такими самими, якими вони були до взаємодії. Якщо до зустрічі імпульс лівого візка дорівнює $m\vec{v}$, а правого $-m\vec{v}$, то після зустрічі імпульс лівого візка дорівнює $-m\vec{v}$, а правого $m\vec{v}$. Тому сумарний імпульс обох візків дорівнює нулю як до, так і після зіткнення, відповідно до закону збереження імпульсу.



Мал. 289

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому суть закону збереження імпульсу?
2. Що таке замкнута система тіл?
3. Парусний човен потрапив у штиль і зупинився. Чи можна змусити його рухатися, надуваючи вітрила за допомогою насосів, установлених на його борту?
4. З рухомого танка робиться гарматний постріл. Чи вплине постріл на швидкість руху танка? Які тіла утворюють у даному випадку замкнуту систему?
5. Дві кульки однакової маси котяться назустріч одна одній з однаковими за модулем швидкостями по гладенькій поверхні (обидві кульки утворюють замкнуту систему). Кульки стикаються і після зіткнення рухаються в протилежних напрямках з такими самими за модулем швидкостями. Який їх загальний імпульс до зіткнення, у момент зіткнення і після нього?
6. Чи можуть осколки гранати, що вибухнула, летіти в одному напрямку, якщо до вибуху граната перебувала у стані спокою? А якщо рухалася?

§ 37. РЕАКТИВНИЙ РУХ. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ. ДОСЯГНЕННЯ КОСМОНАВТИКИ

Цікавий і важливий випадок практичного використання закону збереження імпульсу – це **реактивний рух**. Так називають рух тіла, який виникає під час відділення від тіла з певною швидкістю деякої його частини.

Реактивний рух здійснюють, наприклад, ракети. Будь-яка ракета – це система двох тіл. Вона складається з оболонки і пального, що в ній знаходиться. Оболонка має форму труби, один кінець якої закрито, а другий відкрито і забезпечено трубчастою насадкою з отвором особливої форми – реактивним соплом.

Пальне під час запуску ракети спалюється та перетворюється на газ високого тиску і високої температури. Завдяки високому тиску цей газ з великою швидкістю виривається із сопла ракети. Оболонка ракети рухається при цьому в протилежний бік (мал. 290).

Мал. 290

Перед стартом ракети її загальний імпульс (оболонки і пального) в системі координат, пов'язаній із Землею, дорівнює нулю, ракета не рухається відносно Землі. У результаті взаємодії газу й оболонки, яка викидає газ, вона набуває певного імпульсу. Вважатимемо, що сила тяжіння практично не впливає на рух, тому оболонку й пальне можна розглядати як замкнуту систему та їх загальний імпульс повинен і після запуску залишитися рівним нулю. Оболонка, у свою чергу, завдяки взаємодії з газом набуває імпульсу, що дорівнює за модулем імпульсу газу, але протилежного за напрямком. Ось чому в рух приходить не тільки газ, але й оболонка ракети. У ній можуть бути розміщені наукові прилади для досліджень, засоби зв'язку. У ракеті може розміщу-

ватися космічний корабель, у якому перебувають космонавти або астронавти.

Закон збереження імпульсу дає змогу визначити швидкість руху ракети (оболонки).

Припустимо спочатку, що весь газ, що утворюється під час згоряння пального, викидається з ракети одразу, а не витікає поступово.

Позначимо всю масу газу, на який перетворюється пальне в ракеті, через $m_г$, а швидкість газу – через $\vec{v}_г$. Масу і швидкість руху оболонки позначимо через $m_{об}$ і $\vec{v}_{об}$. Згідно із законом збереження імпульсу сума імпульсів оболонки і газу після запуску повинна бути такою самою, якою була до запуску ракети, тобто повинна дорівнювати нулю. Отже, $m_г(\vec{v}_г)_y + m_{об}(\vec{v}_{об})_y = 0$, або $m_{об}v_{об} = m_г v_г$ (координатну вісь Oy вибрано в напрямку руху оболонки). Звідси визначимо швидкість руху оболонки:

$$v_{об} = \frac{m_г}{m_{об}} v_г.$$

З формули видно: що більша швидкість витікання газу і що більше відношення маси палива до маси оболонки, то швидкість руху оболонки ракети більша. Тому достатньо велику швидкість оболонка отримає в тому випадку, якщо маса палива набагато більша від маси оболонки. Наприклад, щоб швидкість руху оболонки була за абсолютним значенням у 4 рази більша від швидкості витікання газу, потрібно, щоб маса палива була у стільки само разів більша за масу оболонки, тобто оболонка повинна складати одну п'яту від усієї маси ракети на старті. Адже «корисна» частина ракети – це сама оболонка.

Зі створення ракет розпочалося активне освоєння космосу. Український авіаконстуктор **Сергій Павлович Корольов** і його колеги створили ракету-носій «Восток», і 12 квітня 1962 р. людина вийшла в космічний простір. Це був Юрій Гагарін.

Україна входить до складу космічних держав світу завдяки високому рівню науково-технічного і виробничого потенціалу, здійсненню власних космічних проектів, участі в міжнародній космічній діяльності.

У березні 1999 р. відбувся перший пуск української ракети-носія «Зеніт-3SL» за міжнародною програмою «Морський старт». Україна разом із США, Росією і Норвегією стала учасницею грандіозного проекту запусків з плавучого космодрому у Світовому океані.

У грудні 2004 р. було виведено в космос чергові супутники дистанційного зондування Землі серії «Січ», «Січ-1М» і перший український малогабаритний космічний апарат «МС-1-ТК».

За 15 років роботи Національного космічного агентства України (зараз Державне космічне агентство України) і підприємств української космічної галузі забезпечено більше як 100 пусків ракет-носіїв і виведено в космос понад 180 космічних апаратів.

У жовтні 2016 р. з о. Уоллопс (штат Вірджинія, США) відбувся успішний запуск модернізованої ракети-носія середнього класу Antares-230 із транспортним космічним кораблем Cygnus. Головним розробником ракети-носія є американська компанія Orbital ATK, а основну конструкцію її першого ступеня створили українські держпідприємства космічної галузі КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля та ВО «Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова» (м. Дніпро) в кооперації з підприємствами «Хартрон-АРКОС» (м. Харків), «Хартрон-ЮКОМ» (м. Запоріжжя), «ЧЕЗАРА», «РАПІД» (м. Чернігів) та ін.

Українські спеціалісти займалися модернізацією першого ступеня ракетиносія Antares, адаптуючи цей ступінь до нового, більш ефективного двигуна.

Вантажний корабель Cygnus доставив на Міжнародну космічну станцію понад 2 т вантажу (зразки для проведення наукових експериментів, наукові інструменти і продовольство), а також обладнання для виводу в космічний простір мініатюрних супутників. Астронавтка NASA Кейт Рубінс зробила знімки стикування корабля з Міжнародною космічною станцією, які були опубліковані на офіційній сторінці астронавтів агентства в Twitter (мал. 291).

Мал. 291

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Ракета, як відомо, може отримати прискорення в космічному просторі, де навколо неї немає ніяких тіл. Крім того, для її прискорення потрібна сила, а сила – це дія одного тіла на інше. Чому прискорюється ракета?
2. Від чого залежить швидкість руху ракети?
3. Назвіть основні досягнення України в галузі космонавтики.

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Розв'язуємо разом

1. Снаряд розірвався у верхній точці траєкторії на два осколки однакової маси. Швидкість руху снаряда безпосередньо перед вибухом була $\vec{v}$, а швидкість руху одного з осколків одразу після вибуху $\vec{v}_1 = 2\vec{v}$ і напрямлена вертикально вгору. Обчисліть значення і напрямок швидкості $\vec{v}_2$ другого осколка в момент вибуху.

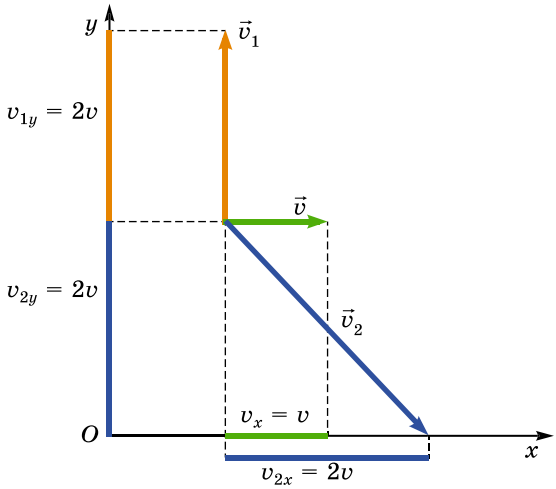
Розв'язання

Оскільки під час вибуху снаряда виникають великі внутрішні сили і час їх дії дуже малий, то зовнішньою силою тяжіння можна знехтувати і вважати систему на час вибуху замкнутою. За законом збереження імпульсу:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \text{ або } m\vec{v} = \frac{1}{2}m\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m\vec{v}_2.$$

Перепишемо це рівняння у проекціях на координатні осі:

$$Ox\colon 2v_x = v_{1x} + v_{2x}; \quad Oy\colon 2v_y = v_{1y} + v_{2y}.$$



Враховуючи, що за умовою задачі $v_{1x} = 0$, $v_{1y} = v_1 = 2v$; $v_y = 0$, $v_x = v$, отримаємо: $v_{2x} = 2v$, $v_{2y} = -2v$.

Тоді $v_2 = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = 2v\sqrt{2}$; $\operatorname{tg}\alpha = \left|\frac{v_{2y}}{v_{2x}}\right| = 1$, $\alpha = 45°$.

Другий осколок полетить зі швидкістю $v_2 \approx 2{,}8v$ униз під кутом $\alpha = 45°$ до горизонту.

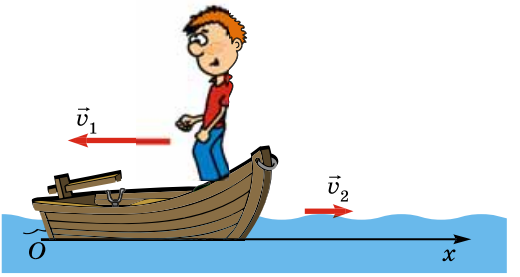
2. Хлопчик масою 50 кг рухається від носа до корми човна масою 150 кг зі швидкістю 0,6 м/с відносно човна. З якими швидкостями рухаються при цьому човен і хлопчик відносно води? Опором води знехтувати.

Дано:
$m_1 = 50$ кг
$m_2 = 150$ кг
$u = 0{,}6$ м/с

$v_1 - ?$ $v_2 - ?$

Розв'язання

Оскільки рівнодійна сил тяжіння та архімедової сили, що діють на човен, дорівнює нулю, система тіл «човен–хлопчик» є замкнутою. Силою опору води, що виникає під час руху човна, знехтуємо, оскільки при малих швидкостях ця сила мала. Застосуємо для цієї системи тіл закон збереження імпульсу відносно системи відліку, пов'язаної з нерухомою водою. Імпульс системи до початку руху хлопчика дорівнює нулю.



За додатний напрямок осі Ox виберемо напрямок руху човна. Відносно води проекція імпульсу човна на вісь Ox дорівнює m_2v_2, а імпульсу хлопчика $-m_1v_1$, де v_1 і v_2 – відповідно швидкості руху хлопчика і човна відносно води. Із закону додавання швидкостей випливає, що $v_1 = u - v_2$.

Запишемо тепер закон збереження імпульсу:

$$m_2v_2 - m_1(u - v_2) = 0.$$

Звідси швидкості човна і хлопчика відносно води дорівнюють:

$$v_2 = \frac{m_1u}{m_1 + m_2}.$$

$$v_1 = u - v_2 = u - \frac{m_1u}{m_1 + m_2} = \frac{m_2u}{m_1 + m_2},\ v_1 = \frac{150\ \text{кг} \cdot 0{,}6\ \text{м/с}}{50\ \text{кг} + 150\ \text{кг}} = 0{,}45\ \text{м/с}.$$

Відповідь: швидкість руху човна дорівнює 0,15 м/с, а швидкість руху хлопчика 0,45 м/с.

Рівень А

257. Визначте імпульс тіла масою 5 кг, що рухається зі швидкістю 2 м/с.

258. У цистерні поливальної автомашини масою 4 т знаходиться 2 м^3 води. Визначте імпульс машини, коли вона рухається зі швидкістю: а) 18 км/год до місця поливу; б) 54 км/год, витративши всю воду.

259. Залізничний вагон масою 30 000 кг, що рухається зі швидкістю 1,5 м/с, зчіплюється з нерухомим вагоном, маса якого дорівнює 20 000 кг. Яка швидкість руху вагонів після зчеплення? Вагони знаходяться на прямолінійній ділянці шляху.

260. Під час формування залізничного складу три зчеплених між собою вагони, що рухаються зі швидкостями 0,4 м/с, стикаються з нерухомим вагоном, після чого всі вагони продовжують рухатися в той самий бік з однаковою швидкістю. Визначте цю швидкість, якщо маси всіх вагонів однакові.

261. Людина масою 70 кг, яка біжить зі швидкістю 7 м/с, наздоганяє візок масою 30 кг, що рухається зі швидкістю 2 м/с, і стрибає на нього. З якою швидкістю почне рухатися візок після цього?

262. Куля масою 10 г пробила стіну, і в результаті швидкість її зменшилася від 800 м/с до 300 м/с. Визначте, на скільки зменшився імпульс кулі.

263. Людина масою 50 кг біжить зі швидкістю 10 м/с за візком, який рухається зі швидкістю 5 км/год, і стрибає на нього. Якою буде швидкість візка після цього, якщо його маса 80 кг?

264. Снаряд масою m_1, що летів зі швидкістю v_1 паралельно до рейок, потрапляє в нерухому платформу з піском масою m_2 і застрягає в піску. З якою швидкістю почне рухатися платформа?

Рівень Б

265. Металева кулька масою 20 г, що падає зі швидкістю 5 м/с, ударяється пружно об сталеву плиту і відскакує від неї у протилежному напрямку з такою самою за модулем швидкістю. Визначте зміну імпульсу кульки та середню силу, що спричинила ця зміна, якщо зіткнення тривало 0,1 с.

266. Шофер вимкнув двигун автомобіля при швидкості 72 км/год. Через 3,4 с автомобіль зупинився. Сила тертя коліс по асфальту дорівнює 5880 Н. Визначте імпульс автомобіля в момент вимкнення двигуна. Яка маса автомобіля?

267. Автомобіль масою 2 т рухається зі швидкістю 36 км/год. Який час потрібний для повної зупинки автомобіля, після вимкнення двигуна, якщо сила тертя коліс об дорогу дорівнює 5880 Н?

268. Зенітний снаряд, випущений у вертикальному напрямку, досягнувши максимальної висоти, вибухнув. При цьому утворилися три уламки. Два уламки розлетілися під прямим кутом один до одного, причому швидкість першого уламка масою 9 кг дорівнює 60 м/с, а швидкість другого масою 18 кг дорівнює 40 м/с. Третій уламок відлетів зі швидкістю 200 м/с. Визначте графічно напрямок польоту третього уламка. Яка його маса?

269. З якою швидкістю буде рухатися хокейна шайба масою 160 г, щоб її імпульс дорівнював імпульсові кулі масою 8 г, яка летить зі швидкістю 600 м/с?

270. Граната масою 3 кг, що летить горизонтально зі швидкістю 15 м/с, розірвалася на дві частини. Швидкість осколка масою 2 кг збільшилася в напрямку руху до 25 м/с. Визначте швидкість меншого осколка.

271. Ракета масою $4 \cdot 10^3$ кг летить зі швидкістю 0,5 км/с. Від неї відокремлюється головна частина масою 10^3 кг і летить зі швидкістю 800 м/с. З якою швидкістю продовжуватиме політ частина ракети, що залишилася?

272. Криголам масою 5000 т рухався з вимкненими двигунами зі швидкістю 10 м/с. Після зіткнення з нерухомою крижиною судно стало рухатися разом з нею зі швидкістю 2 м/с. Обчисліть масу крижини. Опір води не враховувати.

273. Із човна масою 200 кг, що рухається зі швидкістю 1 м/с, у горизонтальному напрямку стрибає дівчинка масою 50 кг зі швидкістю 3 м/с. Яка швидкість човна після стрибка дівчинки, якщо вона стрибає з носа човна по ходу руху?

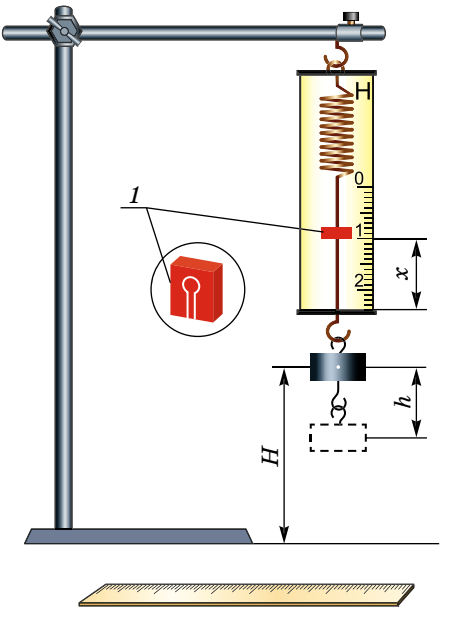
Лабораторна робота № 7

Вивчення закону збереження механічної енергії

Мета роботи: порівняти дві величини – зменшення потенціальної енергії тіла, прикріпленого до пружини, під час його падіння і збільшення потенціальної енергії розтягнутої пружини.

Прилади і матеріали: динамометр, жорсткість пружини якого дорівнює 40 Н/м; лінійка з міліметровими поділками; вантаж масою $0{,}100 \pm 0{,}002$ кг; фіксатор; штатив з муфтою і лапкою.

Для роботи використовується установка, зображена на малюнку 292. Це закріплений на штативі динамометр з фіксатором. Пружина динамометра закінчується дротяним стержнем з гачком. Фіксатор у збільшеному масштабі зображено окремо і позначено цифрою *1*. Це легка коркова пластинка (розмірами 5×7×1,5 мм), прорізана ножем до її центра. Пластинку насаджують на дротяний стержень динамометра. Фіксатор повинен переміщуватися вздовж стержня з невеликим тертям, однак тертя має бути достатнім, щоб фіксатор сам по собі не падав униз. У цьому треба переконатися перед початком роботи. Для цього фіксатор установлюють біля нижнього краю шкали на обмежувальній скобі. Потім пружину розтягують і відпускають. Фіксатор разом з дротяним стержнем повинен піднятися вгору, відмічаючи цим максимальне видовження пружини, яке дорівнює відстані від упора до фіксатора.



Мал. 292

Якщо підняти вантаж, який висить на гачку динамометра, так, щоб пружина була не розтягнена, то потенціальна енергія вантажу відносно, наприклад, поверхні стола дорівнює mgH. Під час падіння вантажу (опускання на відстань $x = h$) потенціальна енергія вантажу зменшиться на $E_1 = mgh$, а енергія пружини під час її деформації збільшиться на $E_2 = kx^2 : 2$.

Хід роботи

1. Вантаж міцно закріпіть на гачку динамометра.

2. Підніміть вантаж рукою, розвантажуючи пружину, і встановіть фіксатор унизу біля скоби.

3. Опустіть вантаж. Падаючи, вантаж розтягне пружину. Зніміть вантаж і за положенням фіксатора виміряйте лінійкою максимальне видовження x_{max} пружини. x_{max1} = _____ м.

4. Повторіть дослід п'ять разів.

x_{max2} = _____ м. x_{max3} = _____ м.

x_{max4} = _____ м. x_{max5} = _____ м.

$x_c = h_c = (x_{max1} + x_{max2} + x_{max3} + x_{max4} + x_{max5}) : 5.$

x_c = _____ м.

5. Обчисліть: $E_{1c} = mgh_c$; $E_{2c} = kx^2 : 2$; $E_{1c} : E_{2c}$.

E_{1c} = _____ Дж.

E_{2c} = _____ Дж.

$E_{1c} : E_{2c}$ = _____ Дж.

6. Результати досліду запишіть у таблицю.

Номер досліду	x_{max}, м	$x_c = h_c$, м	E_{1c}, Дж	E_{2c}, Дж	$E_{1c} : E_{2c}$
1					
2					
3					
4					
5					

7. Порівняйте відношення $E_{1c} : E_{2c}$ з одиницею, зробіть висновок про похибку, з якою було перевірено закон збереження енергії.

8. Зробіть висновки.

§ 38. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ВЗАЄМОДІЇ У ПРИРОДІ. МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ І ТЕОРІЙ

Фізики встановили існування чотирьох видів взаємодії між частинками: сильна, електромагнітна, слабка та гравітаційна (зазначено в порядку зменшення інтенсивності). Сучасні теорії всіх взаємодій є квантовими.

Інтенсивність будь-якої взаємодії прийнято характеризувати за допомогою так званої сталої взаємодії, яка визначає ймовірність процесів, обумовлених даним видом взаємодії. Відношення значень констант показує відносну інтенсивність відповідних взаємодій, що дає змогу порівняти їх.

Найбільш універсальною поміж взаємодій є гравітаційна – вона виникає між будь-якими тілами, що мають масу.

У фізиці частинок гравітаційна взаємодія не відіграє майже ніякої ролі на відстанях, більших за 10–35 м. При менших відстанях або дуже

великих енергіях ця взаємодія за значенням порівнюється з іншими взаємодіями.

Електромагнітна взаємодія виникає між тілами, що мають електричний заряд.

Слабка і сильна взаємодії – ядерні. Слабка взаємодія керує розпадом більш важких частинок на більш легкі й змінює внутрішню природу частинок.

Сильна взаємодія – це взаємодія між кварками (складові частинки ядра), яка й обумовлює ядерну взаємодію, а також різні ядерні реакції. Ця взаємодія майже в 1037 разів сильніша порівняно з гравітаційною.

Кожній фундаментальній взаємодії відповідає своя частинка, яка переносить цю взаємодію. Для гравітації – це гравітони, для електромагнітної взаємодії – фотони, сильна взаємодія обумовлюється глюонами, слабка – векторними бозонами.

Як же здійснюються ці взаємодії?

Механізм взаємодій один: за рахунок обміну іншими частинками – переносниками взаємодії.

Електромагнітна взаємодія: переносник – фотон. Гравітаційна взаємодія: переносники – кванти поля тяжіння – гравітони. І фотони, і гравітони не мають маси (маси спокою) і завжди рухаються зі швидкістю світла. Слабкі взаємодії: переносники – векторні бозони. Істотною відмінністю переносників слабкої взаємодії від фотона і гравітона є їх масивність. Переносники сильних взаємодій – глюони (англ. *glue* – «клей») з масою спокою, що дорівнює нулю.

Ряд істотних відкриттів, зроблених у фундаментальній фізиці, особливо у фізиці високих енергій, важливі експериментальні результати відкривають глибокий взаємозв'язок частинок і прихованих сил, що діють усередині речовини. Учені висунули ідею, згідно з якою вся природа підпорядкована дії якоїсь суперсили, яка є досить потужною, щоб створити наш Всесвіт і наділити його світлом, енергією, матерією та надати йому структури. У суперсилі матерія, простір–час і взаємодія злиті в нероздільне гармонійне ціле, що породжує таку єдність Всесвіту, якої раніше ніхто і не припускав.

Фундаментальні закони є досить абстрактними формулюваннями, що не є наслідком експериментів. Зазвичай фундаментальні закони «вгадуються», а не виводяться з емпіричних. Кількість таких законів дуже обмежена (наприклад, класична механіка має лише чотири фундаментальних закони: три закони Ньютона і закон всесвітнього тяжіння). Численні емпіричні закони є наслідками (іноді зовсім не очевидними) фундаментальних. Критерієм істинності останніх є відповідність конкретних наслідків експериментальним спостереженням. Усі відомі на сьогодні фундаментальні закони описуються досить простими математичними виразами. Межі застосування фундаментальних законів обмежені. Ця обмеженість не пов'язана з математичними неточностями, а має більш фундаментальний характер: при виході за межі застосування фундаментального закону починають втрачати сенс самі поняття, що використовуються у формулюваннях. Так, для мікрооб'єктів виявляється неможливим строге визначення понять прискорення і сили, що обмежує застосування законів Ньютона.

Обмеженість застосування фундаментальних законів природно приводить до питання про існування ще більш загальних законів. Такими є закони збереження. Наявний досвід розвитку природознавства показує, що закони збереження не втрачають свого сенсу при заміні однієї системи фундаментальних законів іншою. У більшості випадків закони збереження не здатні дати такого повного опису явищ, яке дають фундаментальні закони, а лише накладають певні заборони на реалізацію тих чи інших станів при еволюції системи.

Ми вже говорили, що перший закон Ньютона виконується тільки в інерціальних системах відліку. Другий закон також виконується лише в інерціальних системах. Третій закон виконується і в неінерціальних системах, але не завжди. Він не виконується для так званих сил інерції. Отже, першим обмеженням законів Ньютона є те, що вони виконуються тільки в інерціальних системах відліку.

Механіка Ньютона є механікою малих швидкостей (порівняно зі швидкістю поширення світла).

Виявилося, що рух у мікросвіті (світі молекул, атомів і елементарних частинок) підпорядковується іншим законам. Тому механіка Ньютона незастосовна до мікросвіту, вона є механікою великих тіл (звичайно, порівнянних з розмірами молекул).

Отже, класична механіка Галілея–Ньютона виконується лише в інерціальних системах для великих тіл, які рухаються з малими швидкостями, а тому вважати її універсальною не можна. Це потрібно пам'ятати під час розв'язування практичних задач.

Кожен фізичний закон має свої межі застосування. Це, у першу чергу, стосується закону збереження механічної енергії. Перше важливе обмеження цього закону – система розглядуваних тіл має бути ізольована від зовнішніх впливів. Таку систему називають замкнутою. Друге обмеження пов'язане з тим, що не завжди робота однозначно визначається зміною потенціальної енергії тіла під час переміщення його з однієї точки поля в іншу. Однозначне визначення роботи як міри зміни потенціальної енергії має місце лише для певних типів полів, які називають потенціальними. Прикладами таких полів є гравітаційне або електростатичне поле. Потенціальними вважаються поля, робота сил яких не залежить від траєкторії руху тіла в полі. Відповідно, сили цих полів називають консервативними. Якщо робота сил залежить від форми шляху або сили залежать від швидкості руху, то механічна енергія системи не зберігається. Наприклад, сили тертя, які не є консервативними, присутні в усіх випадках. Отже, закон збереження механічної енергії справджується лише для ідеалізованих ситуацій.

Вивчаючи закон Гука, слід пам'ятати, що він має певні межі застосування або межі, у яких він справджується, а саме «межу пружності».

Закон Ома також має межі застосування, хоча й досить широкі – аж до надвичайно малих струмів. Закон Ома не справджується у тих випадках, коли струм дуже слабкий (або дуже великий) і починають виявлятися флуктуації числа носіїв струму – електронів у металі. Тоді закон, що має принципово статистичний характер, не виконується.

Закони прямолінійного поширення світла, відбивання і заломлення справджуються лише за певних умов, коли довжина світлових хвиль на-

багато менша за розміри отворів і екранів, з якими взаємодіє світло під час свого поширення.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які ви знаєте фундаментальні взаємодії?
2. Чому вводять потяття «межі застосування» закону або теорії?
3. Наведіть приклади законів, які мають певні межі.

§ 39. ФУНДАМЕНТАЛЬНИЙ ХАРАКТЕР ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ У ПРИРОДІ

Фундаментальні фізичні закони – найповніше на сьогоднішній день, але наближене відображення об'єктивних процесів у природі. Різні форми руху матерії описуються різними фундаментальними теоріями. Кожна із цих теорій описує цілком певні явища: механічний або тепловий рух, електромагнітні явища.

Закони збереження фізичних величин – твердження, згідно з якими числові значення цих величин не змінюються із часом у будь-яких процесах або класах процесів.

Ідея збереження з'явилася спочатку як суто філософська думка про наявність незмінного, стабільного у вічно мінливому світі. Ще античні філософи-матеріалісти прийшли до поняття матерії як незнищенної і нестворюваної. З другого боку, спостереження постійних змін у природі приводило до подання про вічний рух матерії як важливої її властивості. З появою матеріалістичного формулювання механіки на цій основі з'явилися закони збереження.

Найважливішими законами збереження, які справджуються для будь-яких ізольованих систем, є закон збереження енергії і закон збереження імпульсу.

Закон збереження енергії в механічних процесах. Механічна енергія поділяється на два види: потенціальну ($E_п = mgh$ – якщо тіло підняте на певну висоту над Землею, $E_п = \frac{kx^2}{2}$ – якщо тіло пружно деформоване) і кінетичну $E_к = \frac{mv^2}{2}$. Потенціальна енергія характеризує взаємодіючі тіла, а кінетична – рухомі. І потенціальна, і кінетична енергії змінюються тільки в результаті такої взаємодії тіл, під час якої сили, що діють на тіла, виконують роботу, відмінну від нуля.

Розглянемо тепер питання про зміну енергії під час взаємодії тіл, що утворюють замкнуту систему. Якщо кілька тіл взаємодіють між собою лише силами тяжіння та силами пружності й ніякі зовнішні сили не діють, то під час будь-яких взаємодій сума кінетичної й потенціальної енергій тіл залишається сталою. Це твердження називають законом збереження енергії в механічних процесах.

Суму кінетичної і потенціальної енергій тіл називають повною механічною енергією ($E = E_п + E_к$). Тому закон збереження енергії можна сформулювати так: **повна механічна енергія замкнутої системи тіл, вза-**

ємодіючих силами тяжіння та пружності, залишається сталою: E = const. Основний зміст закону збереження енергії полягає не лише у встановленні факту збереження повної механічної енергії, а й у встановленні можливості взаємних перетворень кінетичної та потенціальної енергій.

Закон збереження повної механічної енергії у процесах за участю сил пружності і гравітаційних сил є одним з основних законів механіки. Знання цього закону спрощує розв'язання багатьох завдань, що мають практичне значення. Наприклад, для отримання електроенергії широко використовують енергію річок. Із цією метою будують греблі, перегороджують річки. Під дією сил тяжіння вода з водосховища за греблею рухається вниз прискорено і набуває певної кінетичної енергії. Під час зіткнення потоку води з лопатками гідравлічної турбіни відбувається перетворення кінетичної енергії поступального руху води в кінетичну енергію обертального руху роторів турбіни, а потім за допомогою електричного генератора – в електричну енергію.

Механічна енергія не зберігається, якщо між тілами діє сила тертя. Автомобіль, що рухався по горизонтальній ділянці дороги, після вимкнення двигуна проходить певний шлях і під дією сил тертя зупиняється. Під час гальмування автомобіля відбулося нагрівання гальмівних колодок, шин автомобіля, асфальту. У результаті дії сил тертя кінетична енергія автомобіля не зникла, а перетворилася у внутрішню енергію теплового руху молекул. Отже, за будь-яких фізичних взаємодій енергія не виникає, а тільки перетворюється з одного виду в інший. Цей експериментально встановлений факт називають законом збереження і перетворення енергії. Джерела енергії на землі великі й різноманітні. У давнину люди знали тільки одне джерело енергії – силу м'язів і силу домашніх тварин. Енергія поновлювалася за рахунок споживання їжі. Тепер більшу частину роботи виконують машини, джерелом енергії для них слугують різні види видобутого палива: кам'яне вугілля, торф, нафта, а також енергія води і вітру.

Усі ці види енергії є енергією сонячних променів. Енергія навколишнього космічного простору акумулюється Сонцем у вигляді енергії атомних ядер, хімічних елементів, електромагнітних і гравітаційних полів. Сонце, у свою чергу, забезпечує Землю енергією у вигляді енергії вітру і хвиль, припливів і відпливів, у формі геомагнетизму, різного виду випромінювань, енергії м'язів тваринного світу.

Геофізична енергія вивільняється у вигляді природних стихійних явищ, обміну речовин у живих організмах, корисної роботи з переміщення тіл, зміни їх структури, якості, передачі інформації, запасання енергії в різного роду акумуляторах, у пружній деформації пружин, мембран.

Будь-які види енергії, перетворюючись одна в одну за допомогою механічного руху, хімічних реакцій і електромагнітних випромінювань, врешті-решт, переходять у тепло і розсіюються в навколишньому просторі. Це явище проявляється у вигляді вибухових процесів, горіння, гниття, плавлення, випаровування, деформації, радіоактивного розпаду.

Відбувається кругообіг енергії у природі, що характеризується не тільки хаотизацією, а й зворотним її процесом – упорядкуванням структури, яке наочно простежується, насамперед, у зореутворенні, трансформації і

виникненні нових електромагнітних і гравітаційних полів, і вони знову несуть свою енергію новим «сонячним системам».

Закон збереження механічної енергії сформулював німецький учений Готфрід Лейбніц. Потім німецький учений Юліус Майер, англійський фізик Джеймс Джоуль і німецький учений Генріх Гельмгольц експериментально відкрили закони збереження енергії в немеханічних явищах.

Закон збереження імпульсу. Спокій і рух тіла відносні, швидкість руху залежить від вибору системи відліку. За другим законом Ньютона, незалежно від того, чи перебуває тіло у спокої або рухається рівномірно і прямолінійно, зміна його швидкості руху може відбуватися тільки під дією сили, тобто в результаті взаємодії з іншими тілами.

Є фізична величина, яка однаково змінюється в усіх тіл під дією однакових сил. Вона визначається добутком маси тіла та його швидкості і називають її імпульсом тіла. Імпульс тіла – величина векторна, яка має такий самий напрямок, як і напрямок швидкості руху тіла. Імпульс тіла є кількісною характеристикою поступального руху тіл. Експериментальні дослідження взаємодій різних тіл – від планет та зірок до атомів і електронів, елементарних частинок – показали, що в будь-якій системі взаємодіючих між собою тіл **геометрична сума імпульсів цих тіл залишається сталою:** $\sum \vec{p} = \textbf{const}$.

Систему тіл, які не взаємодіють з іншими тілами, що не входять у цю систему, називають замкнутою. Таким чином, у замкнутій системі геометрична сума імпульсів тіл залишається сталою за будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою. Цей фундаментальний закон природи називають законом збереження імпульсу.

Необхідною умовою застосування закону збереження імпульсу до системи взаємодіючих тіл є використання інерціальної системи відліку. На законі збереження імпульсу ґрунтується реактивний рух, його використовують під час розрахунку спрямованих вибухів, наприклад під час прокладання тунелів у горах. Польоти в космос стали можливими завдяки використанню багатоступеневих ракет.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке фундаментальний закон?
2. Які фундаментальні закони ви знаєте?
3. Про що свідчить закон збереження енергії?
4. У чому суть закону збереження імпульсу?

§ 40. ПРОЯВИ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕПЛОВИХ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ, ЯДЕРНИХ ЯВИЩАХ

Закон збереження енергії для теплових процесів. Закон збереження енергії стверджує, що кількість енергії при будь-якому її перетворенні залишається незмінною. Але прагнення до рівноваги означає, що в подій є певний хід: тепло передається від нагрітих тіл до холодних; не може м'яч, що лежить на столі, самостійно почати рухатись, не може тіло нагрітися, якщо йому не передати певної кількості теплоти.

Закон збереження енергії для теплових процесів можна сформулювати так: неможливо перевести теплоту від більш холодної системи до більш гарячої за відсутності інших одночасних змін в обох системах або в оточуючих тілах.

Вивчаючи різні механічні й теплові процеси, можна зробити висновок, що головний фундаментальний закон фізики – це закон збереження енергії. Під час усіх явищ, які відбуваються у природі, енергія не виникає і не зникає, вона тільки перетворюється з одного виду на інший, кількісно залишаючись незмінною.

Уявлення про частинки заряду дають підстави стверджувати, що заряд зберігається. Коли тіла заряджаються шляхом тертя, то заряджені частинки переносяться від одного тіла до іншого. Той заряд, який набуває одне тіло, інше тіло втрачає. Коли пластини електричних терезів заряджаються від батареї гальванічних елементів, то остання переносить заряд від однієї пластини до іншої. Заряди пластин рівні й протилежні за знаком.

За деяких дуже незвичайних обставин можна «створювати» заряджені частинки, але ми побачимо, що вони завжди утворюються парами, і заряд однієї частинки дорівнює за значенням і протилежний за знаком до заряду другої. Іноді природа сама «створює» заряджені частинки, наприклад нейтрон перетворюється у протон і електрон. Повний заряд дорівнює нулю до і після перетворення.

Досліди і наявні дані спостережень показують, що повна кількість заряду ніколи не змінюється. Подібно до закону збереження енергії, збереження заряду є законом природи, що поширюється на всі явища, які ви знаєте.

Отже, під час електризації тіл справджується фундаментальний закон природи, який називають законом збереження електричного заряду. Цей закон справджується лише для електрично ізольованих, або замкнутих, систем, які не обмінюються електричними зарядами з тілами чи частинками, що не входять до цих систем.

У замкнутій системі заряджених тіл алгебраїчна сума зарядів залишається сталою.

Якщо окремі заряди позначити через q_1, q_2, q_3 ... q_n, то

$$q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = \text{const}.$$

Із цього закону також випливає, що під час взаємодії заряджених тіл не може виникнути чи зникнути заряд тільки одного знака. Виникнення позитивного електричного заряду завжди супроводжується появою такого самого за модулем негативного електричного заряду.

Закон збереження заряду встановив у 1750 р. американський учений і видатний політичний діяч **Бенджамін Франклін**. Він також уперше ввів поняття про позитивні й негативні електричні заряди, позначивши їх знаками «+» і «–».

Одним з основних законів природи є закон збереження маси та енергії:

сумарні маса та енергія, що вступили в реакцію, дорівнюють сумарній масі та енергії продуктів реакції.

По суті, це є універсальний закон, але, як правило, його розділяють на два. Хімія має справу із законом збереження маси, а фізика – із законом збереження енергії.

Закон збереження маси: **маса речовин, що вступили в реакцію, дорівнює масі речовин, що утворилися внаслідок реакції.**

Цей закон не є точним, адже він не враховує зміну маси під час виділення або поглинання енергії. Однак під час хімічних процесів зміна маси така мізерна, що нею просто нехтують.

Закон збереження та перетворення енергії: **енергія не створюється з нічого і нікуди не зникає, а лише перетворюється з одного виду в інший в еквівалентних кількостях.**

Залежність між масою та енергією математично виразив Ейнштейн:

$$E = mc^2.$$

Зміна маси відчутна тільки під час ядерних реакцій, у ході яких виділяється велика кількість енергії.

З точки зору атомно-молекулярної теорії закон збереження маси пояснюють так: **під час перебігу хімічних реакцій атоми не зникають і не з'являються, а відбувається їх перегрупування.**

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому суть закону збереження енергії для теплових процесів?
2. Що пояснює закон збереження електричного заряду?
3. Який зміст закону збереження маси речовини?
4. Яку формулу вивів Ейнштейн і про що вона свідчить?

§ 41. ЕВОЛЮЦІЯ ФІЗИЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ. РОЗВИТОК УЯВЛЕНЬ ПРО ПРИРОДУ СВІТЛА

Матеріал, який ви вивчали, є результатом гігантської дослідницької роботи, виконаної протягом багатьох століть ученими всього світу з дослідження різних форм руху матерії, будови і властивостей матеріальних тіл. Ви переконалися в тому, що при всій своїй різноманітності навколишній матеріальний світ єдиний. Його єдність виявляється насамперед у тому, що всі явища, хоч би якими складними вони здавалися, є різними станами і властивостями рухомої матерії, мають у кінцевому результаті матеріальне походження. Єдність світу проявляється також у взаємозв'язку всіх явищ, можливості взаємоперетворень форм матерії і руху. Разом з тим єдність світу виявляється в існуванні загальних законів руху матерії.

Завдання фізики та інших природничих наук полягає в тому, щоб виявити найзагальніші закони природи і пояснити на їх основі конкретні явища і процеси.

Відображенням єдності світу в пізнанні є синтез наукових знань, здобутих у процесі дослідження природи різними науками. На кожному етапі розвитку науки виникає потреба об'єднання наукових знань в єдину систему знань про явища, процеси та інші об'єкти природи у природничо-наукову картину світу.

Фізична картина світу становить частину всієї системи знань про природу, оскільки вона стосується лише фізичних властивостей матеріальних тіл і фізичних форм руху матерії.

Фізична картина світу дає найзагальніше синтезоване уявлення про суть фізичних явищ на певному етапі розвитку фізичної науки. Природно, що з розвитком фізики вчені відкривають нові закони. Одночасно встановлюється зв'язок між цими законами, деякі з них отримують теоретичне обґрунтування і подальше узагальнення, на основі чого часто стає можливим вивести відомі раніше закони із загальніших фізичних теорій, принципів. Так, з електронної теорії будови речовини можна вивести закони Ома, Джоуля–Ленца тощо.

У стародавньому світі всі знання про природу об'єднувала в собі фізика, і вже на той час було сформульовано основні елементи матеріалістичного розуміння світу. Мислителі Давньої Греції **Левкіп**, **Демокріт**, **Епікур**, **Лукрецій Кар** стверджували, що навколишній світ за своєю природою матеріальний, нестворюваний і незнищуваний, існує вічно в часі й безмежний у просторі. Усі тіла складаються з первинних, далі неподільних частинок – атомів, які за всіх змін не виникають з нічого і не знищуються, а лише взаємодіють і перетворюються.

Міколай Коперник у 1543 р. запропонував геліоцентричну систему світу. Прогрес фізичних знань підготував ґрунт для формування **механічної картини світу** на основі законів механіки Ньютона. Згідно з вченням Ньютона, весь світ складається з твердих, непроникних частинок – атомів, які мають масу та інертні властивості.

Фізика Ньютона давала досить загальну і відносно наочну картину світу. Вона стала теоретичною основою різних галузей техніки того часу. До другої половини XIX ст. механічна картина світу досягла певної завершеності й здавалася непохитною.

Під час вивчення електромагнітних явищ (дослідження Ерстеда, Ампера, Араго та ін.) з'ясувалося, що вони не підкоряються механіці Ньютона. Виходячи із цього Майкл Фарадей, розвиваючи теорію електромагнітного поля, установив взаємозв'язок між електричними та магнітними явищами.

З розвитком електродинаміки у фізиці поступово утверджується уявлення про світ як про загальну систему, побудовану з електрично заряджених частинок, які взаємодіють між собою за допомогою електромагнітного поля. Інакше кажучи, починається створення єдиної **електромагнітної картини світу**, усі події в якій підпорядковуються законам електромагнітних взаємодій.

Однак подальший розвиток фізики показав обмеженість електромагнітної картини світу. У цій картині матерія розглядалась як сукупність позитивно і негативно заряджених частинок, які взаємодіють через поле тяжіння і електромагнітне поле. Але із часом з'ясувалась обмеженість цієї картини світу. Вона не могла пояснити стійкості атомів, не охоплювала тяжіння (закон всесвітнього тяжіння не можна вивести з теорії електромагнітного поля), не пояснювала хімічного зв'язку атомів у молекулах, явища радіоактивності тощо.

Фундаментальні відкриття у фізиці на початку XX ст. привели до заміни електромагнітної картини світу якісно новою – квантово-польовою. Вона ґрунтується на досягненнях **квантової механіки**, яка в основному пояснила структуру атомів і молекул, природу хімічного зв'язку, фізико-хімічні властивості макроскопічних тіл, описала багато властивостей і законів елементарних частинок.

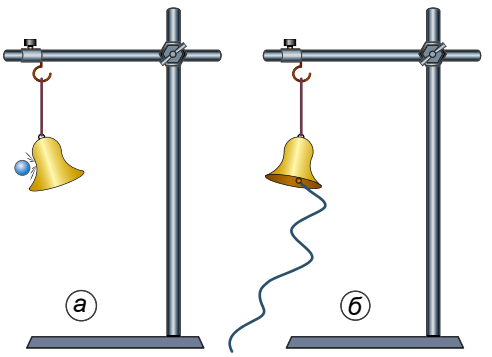
З погляду сучасної фізики існують дві основні форми матерії – речовина і поле. Речовина має переривчасту (дискретну) будову, а поле – безперервну.

Сучасна фізична картина світу є результатом узагальнення найважливіших досягнень усіх фізичних наук. Однак хоча ця картина світу і відзначається великою загальністю й успішно пояснює багато явищ, але у природі існує багато явищ, які сучасна фізика ще пояснити не може. Сучасна фізична картина світу постійно розвивається і вдосконалюється, на зміну існуючим квантово-польовим уявленням прийде нова картина, яка глибше й точніше відображатиме об'єктивний світ фізичних явищ. Але ця картина світу міститиме складовою частиною все те, що ми вже знаємо про фізичні явища.

Ви вже знаєте те, що від джерела світла, наприклад від лампочки або свічки, світло поширюється в усі боки й падає на навколишні предмети, зокрема, нагріваючи їх. Потрапляючи в око, світло спричиняє зорове відчуття – ми бачимо те, що оточує нас. Можна сказати, що під час поширення світла передається дія від одного тіла – джерела світла – до іншого – приймача.

Узагалі ж одне тіло може діяти на інше двома різними способами: або переносити речовину від джерела до приймача, або змінювати стан середовища між тілами (у даному випадку речовина не переноситься).

Можна, наприклад, змусити задзвонити дзвінок, що перебуває на деякій відстані, поціливши в нього кулькою (мал. 293, *а*). При цьому відбувається перенесення речовини. Але можна діяти інакше: прив'язати шнур до осердя дзвінка і змусити дзвінок звучати, посилаючи по шнуру хвилі, які розгойдуватимуть його осердя (мал. 293, *б*). У цьому випадку речовина не переноситиметься. По шнуру буде поширюватися хвиля, змінюючи його стан (форму). Отже, дія від одного тіла до іншого може передаватися хвилями.



Мал. 293

Відповідно до двох можливих способів передавання дії від джерела до приймача виникли й почали розвиватися дві зовсім різні теорії про те, що таке світло і яка його природа. Причому виникли вони майже одночасно в XVII ст.

Одна теорія пов'язана з ім'ям Ісаака Ньютона, а друга – з ім'ям Крістіана Гюйгенса.

Ньютон дотримувався так званої корпускулярної теорії світла, згідно з якою світло – це потік частинок, що вилітають від джерела, прямуючи в усі боки (перенесення речовини).

За хвильовою теорією Гюйгенса, світло – це хвилі, що поширюються в особливому, гіпотетичному середовищі – ефірі, який заповнює увесь простір і проникає всередину всіх тіл.

Обидві теорії тривалий час існували паралельно. Жодна з них не могла перемогти. Лише авторитет Ньютона змусив більшість учених віддавати перевагу корпускулярній теорії. Відомі на той час із дослідів закони поширення світла більш або менш успішно пояснювалися обома теоріями.

На основі корпускулярної теорії було важко пояснити, чому світлові пучки, перетинаючись у просторі, ніяк не діють один на одного. Адже світлові частинки повинні стикатися й розсіюватися.

Хвильова ж теорія це легко пояснювала. Хвилі, наприклад, на поверхні води вільно проходять одна крізь одну і не впливають одна на одну.

Проте за хвильовою теорією важко пояснити прямолінійне поширення світла, яке обумовлює утворення за предметами чітких тіней. За корпускулярною ж теорією прямолінійне поширення світла – це просто наслідок закону інерції.

Таке непевне уявлення щодо природи світла тривало до початку XIX ст., до того часу, поки не було відкрито явища дифракції (огинання світлом перешкод) та інтерференції світла (посилення або послаблення освітленості від накладання світлових пучків). Ці явища властиві тільки хвильовому руху. Пояснити їх за корпускулярною теорією не можна. Тому здавалося, що хвильова теорія остаточно перемогла.

Така впевненість особливо зросла після того, як Джеймс Максвелл у другій половині XIX ст. показав, що світло є окремим випадком електромагнітних хвиль. Праці Максвелла стали підґрунтям для електромагнітної теорії світла.

Після того як Генріх Герц експериментально виявив електромагнітні хвилі, ніяких сумнівів у тому, що під час поширення світло поводиться як хвиля, не лишилося.

Проте на початку XX ст. уявлення про природу світла почало докорінно змінюватися. Несподівано з'ясувалося, що відкинута корпускулярна теорія все ж таки має під собою підґрунтя.

Під час випромінювання і поглинання світло поводиться подібно до потоку частинок.

Було виявлено переривчасті, або, як кажуть, квантові, властивості світла. Виникла незвичайна ситуація: явища інтерференції і дифракції, як і раніше, можна було пояснити, вважаючи світло хвилею, а явища випромінювання і поглинання – вважаючи світло потоком частинок. Ці два, здавалося б, несумісні одне з одним уявлення про природу світла, у 30-х роках XX ст. вдалося несуперечливо об'єднати в новій видатній фізичній теорії – квантовій електродинаміці.

Пізніше з'ясувалося, що двоїстість властивостей характерна не тільки для світла, а й для будь-якої іншої форми матерії.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Назвіть основні етапи становлення сучасної фізичної картини світу.
2. Які фундаментальні відкриття у фізиці приводили до зміни фізичної картини світу?
3. Що являє собою сучасна фізична картина світу?
4. Як розвивалися погляди на природу світла?

§ 42. ВПЛИВ ФІЗИКИ НА СУСПІЛЬНИЙ РОЗВИТОК ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС

Науково-технічний прогрес характеризується зв'язком науки з виробничими процесами. На базі наукових відкриттів з фізики вдосконалюються, наприклад, електрофізичні, електронні, електрохімічні, ультразвукові технологічні процеси і виникають нові галузі промисловості: на основі досягнень ядерної фізики – ядерна енергетика і виробництво радіоактивних ізотопів; на основі досягнень фізики твердого тіла – виробництво напівпровідникових приладів, нових матеріалів із заздалегідь заданими властивостями. Різко скорочуються строки впровадження наукових відкриттів у виробництво.

Велике значення для розвитку науково-технічного прогресу має енергетична база техніки. Нині основним видом енергії є електрична – найбільш універсальний вид енергії: він широко застосовується в технологічних процесах (термічних, світлових, електромагнітних), на транспорті, у зв'язку і в усіх сферах побуту. На сьогодні зростання споживання електроенергії спостерігається в усьому світі. Кожні 8–9 років виробництво електроенергії на Землі подвоюється. Понад 80 % електроенергії виробляється на ТЕС, її значення в енергетиці ще тривалий час залишатиметься визначальним.

Із часу введення в дію першої АЕС в Україні минуло понад 40 років. За цей час у техніці АЕС сталися великі зміни: різко зросли потужності ядерних реакторів, підвищилися техніко-економічні показники АЕС. Для районів, віддалених від ресурсів хімічного палива, собівартість 1 кВт · год для АЕС менша, ніж для ТЕС. Тому, незважаючи на трохи вищу вартість обладнання для АЕС, їхні загальні економічні показники в цих умовах кращі, ніж для теплових електростанцій. Майже для всіх країн світу, які не мають достатніх ресурсів хімічного палива, програма створення АЕС стала однією з найважливіших у розвитку енергетики та економіки. Адже розвиток атомної енергетики відбувається на основі створення ядерних реакторів на теплових нейтронах. Важливими завданнями вдосконалення ядерних реакторів на теплових нейтронах і розвитку АЕС є збільшення потужностей реакторів до 1,5–2 млн кіловат і турбогенераторів для них, створення високотемпературного реактора (800–1000 °С і вище), які мають велике значення для поліпшення використання ядерного палива і застосування ядерної енергії у високотемпературних технологічних процесах.

У розвитку енергетики України значну роль відіграє гідроенергетика. Перевага ГЕС полягає у невичерпності гідроенергоресурсів, дуже низькій собівартості виробленої енергії, відсутності шкідливого впливу на навколишнє середовище. Недоліком ГЕС є відносно висока вартість їх спорудження.

Нині розробляються нові методи і способи одержання електроенергії. Зокрема, досягнуто великого прогресу в перетворенні сонячної, вітрової енергії в електричну, починають застосовуватися магнітогідродинамічні способи генерування електричного струму. Велика робота проводиться в усьому світі з розв'язання проблеми термоядерного синтезу. Можна сподіватися, що буде знайдено практичне розв'язання цієї проблеми і побудовано перші промислові термоядерні реактори.

Важливим напрямом сучасного науково-технічного прогресу є радіоелектроніка, її технічні засоби та їх застосування в багатьох галузях діяльності людей. Сучасна радіоелектроніка є розвинутою технічною галуззю науки і техніки, пов'язаною із широким комплексом наукових методів і технічних засобів для запам'ятовування, переробки і передачі інформації на основі використання електромагнітних явищ. Важко назвати іншу галузь техніки, яка за своїм впливом на життя і діяльність людини посідала б таке важливе місце. Сучасну радіоелектроніку по праву вважають визначальним напрямом науково-технічного прогресу.

Ускладнення сучасного промислового виробництва, зростаючі взаємозв'язки окремих підприємств між собою потребують автоматизації багатьох функцій управління. Це можна зробити лише за допомогою електронних автоматизованих систем управління, матеріальною основою яких є комп'ютерні технології.

На сьогодні комп'ютери широко застосовуються в усіх галузях науки, техніки й виробництва. Вони відкрили великі можливості в галузі управління не тільки виробничими процесами для побудови автоматизованих систем управління в технологічній сфері, а й у галузі адміністративній. Їх застосовують у верстатах з програмним керуванням, у керуванні транспортними засобами, наприклад електропоїздами, літаками, кораблями, здійснюють контроль за рухом в аеропортах та на аеродромах.

Без застосування комп'ютерів неможливо уявити жодне велике дослідження. Широкі можливості відкрилися завдяки цьому перед медициною – розроблено методи використання комп'ютерів для діагностики. Без них неможливо запускати космічні кораблі й супутники. Для виведення на орбіту космічного корабля потрібно за лічені секунди опрацювати значний обсяг інформації, що під силу лише комп'ютеру. Усі дані про політ корабля, стан бортових систем і самопочуття космонавтів уводяться в бортові обчислювальні пристрої, передаються на Землю і надходять у вигляді команд для виконання в потрібні прилади корабля і наземних комплексів. Усі ці процеси виконуються з величезною швидкістю і високою точністю.

Завдання автоматизації виробництва потребують створення гнучких, точних і надійних систем контролю за керуванням різними процесами.

Галузі використання радіоелектроніки надзвичайно широкі. Це, зокрема, нагрівання речовин у високочастотних електромагнітних полях для термічної обробки: загартування, плавлення, паяння, зварювання тощо. Це застосування ультразвуку для інтенсифікації різних технологічних процесів: очищення деталей, ударне ультразвукове притирання; різання великогабаритних виробів, паяння, зварювання тощо. Це широке застосування радіоелектронної апаратури та електронної техніки для обробки різних матеріалів.

Дуже важливим напрямом науково-технічного прогресу є космічні дослідження, розвиток космонавтики. Найбільш вагомим внеском у розвиток космонавтики стали розвиток ракетної техніки, створення потужних ракетоносіїв, здатних виводити в космос супутники й кораблі зі складною апаратурою та людьми на борту. Не менш помітно вплинули на прогрес космонавтики успіхи електронної обчислювальної техніки і радіоелектроніки, а також автоматики. Без приладів радіоелектроніки неможливо здійснити багато функцій ракет і космічних апаратів: виведення їх на орбіту, корекцію траєкторій, збирання, обробку і передачу на Землю інформації.

Важко переоцінити роль і значення штучних супутників Землі в розв'язанні багатьох практичних завдань. Через штучні супутники зв'язку і систему наземних станцій здійснюються зв'язок і обмін телевізійними програмами. Прогноз погоди також неможливий без метеорологічної інформації, яку отримують за допомогою системи «Метеор». Супутники-маяки застосовуються в системах навігації.

Сучасний технічний прогрес у різноманітних галузях поряд з іншими засобами автоматизації все більшою мірою визначається ступенем використання машин, які автоматизують процеси розумової праці. Найбільший ступінь автоматизації спостерігається в енергетичній, металургійній, хімічній і нафтопереробній промисловостях.

Майже в усіх галузях машинобудування застосовуються автоматизовані технологічні процеси. На транспорті звичним явищем є автоматичні залізничні сортувальні станції. Поїзди без машиніста на сьогодні вже є реальністю. В авіації вже багато років використовують автопілоти. В основному автоматизовано радіолокаційні й авіанавігаційні пристрої.

Одним з напрямів науково-технічного прогресу є одержання матеріалів із заздалегідь визначеними властивостями, використання рідкісних елементів. Сучасний прогрес космонавтики, радіоелектроніки, атомної енергетики, авіації, машинобудування тощо багато в чому пов'язаний з досягненнями в галузі виробництва штучних матеріалів: надтвердих, жароміцних, антикорозійних тощо; використання рідкісних металів та їх сплавів. Знання залежності хімічних і фізичних властивостей речовини від її фізичної структури дає змогу вченим передбачати майбутні властивості того чи іншого матеріалу й цілеспрямовано синтезувати матеріали із заздалегідь заданими механічними, магнітними, оптичними та іншими властивостями.

Важко переоцінити значення досягнень у виробництві напівпровідникових та інших матеріалів для сучасної радіоелектроніки.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке науково-технічний прогрес?
2. Розкажіть, як науково-технічний прогрес впливає на розвиток промисловості.

ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Контрольні запитання

1. Що можна сказати про характер руху тіл за їх траєкторіями руху, за зміною їх швидкостей?
2. Які умови потрібні для того, щоб тіло рухалося рівноприскорено?

3. Який результат взаємодії Землі і Місяця, що є супутником Землі? Як цей результат впливає на явища на Землі?
4. Камінь падає тому, що його притягує Земля. Яка неточність у такому твердженні?
5. Чому сила тяжіння змінюється зі збільшенням висоти над поверхнею Землі? Чи змінюється при цьому маса тіла?
6. Від чого залежить прискорення вільного падіння в певній місцевості?
7. За яких умов справджується закон збереження імпульсу?
8. Назвіть кілька прикладів реактивного руху в природі. Поясніть ці приклади.
9. Наведіть приклади практичного застосування законів збереження.
10. Що ви знаєте про фізичну картину світу?
11. Доведіть, як фізика впливає на розвиток техніки і технологій.
12. Що ви знаєте про межі застосування фізичних законів і теорій?

Що я знаю і вмію робити

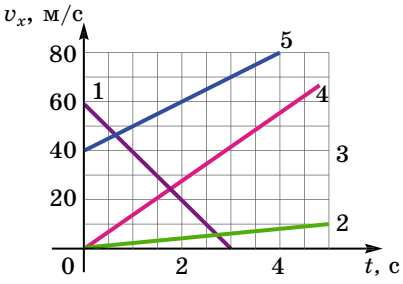
Я знаю, що таке прискорення, і вмію його визначати.

1. З яким прискоренням рухається автомобіль, якщо його швидкість за 6 с збільшилася від 144 км/год до 216 км/год?

2. Два велосипедисти їдуть назустріч один одному. Перший з початковою швидкістю 9 км/год спускається з гори з прискоренням 0,4 м/с^2. Другий піднімається вгору з початковою швидкістю 18 км/год з прискоренням 0,2 м/с^2. Через який час велосипедисти зустрінуться, якщо початкова відстань між ними 200 м?

Я вмію аналізувати графіки і знаю, як їх будувати.

3. За графіками залежності швидкості від часу (мал. 294) для кожного випадку визначте: а) характер руху тіла; б) прискорення тіла; в) швидкість тіла в момент часу t = 2 с; г) шлях, який пройшло тіло за інтервал часу від 0 до 2 с. Що означають точки перетину графіків?



Мал. 294

4. Рівняння координат трьох тіл мають вигляд:

$$x_1 = 6 + 7t^2,\ x_2 = 5t^2,\ x_3 = 9t - 4t^2.$$

Опишіть характер руху тіл. Визначте прискорення для кожного випадку. Запишіть рівняння $\upsilon_x = \upsilon_x(t)$ для цих тіл. Побудуйте графіки залежності швидкості від часу для кожного випадку.

Я вмію складати задачі і знаю, як заповнювати таблиці.

5. Сформулюйте умову задачі для кожного випадку та розв'яжіть її. В усіх випадках рух вважати рівноприскореним, а початкову швидкість рівною 0.

	Час розгону, с	Швидкість після розгону, км/год	Прискорення, м/с^2	Пройдений шлях, м
Гоночний автомобіль	3,4	100	?	?
Легковий автомобіль	18	80	?	?
Гепард	2	72	?	?
Ковзаняр-спринтер	8,5	?	?	50
Легкоатлет-спринтер	?	39,6	?	40
Велосипедист	15	?	?	200

Я вмію зображати на малюнках сили, які діють на тіло.

6. Зобразіть на малюнку сили, що діють на тіло під час його рівноприскореного прямолінійного руху в таких випадках: а) санчата з'їжджають з гірки; б) санчата з вантажем тягнуть за мотузку на гірку; в) санчата з вантажем тягнуть за мотузку по горизонтальній поверхні; г) кран піднімає вантаж вертикально вгору.

Я вмію розв'язувати задачі на застосування законів Ньютона.

7. Під дією сили F тіло масою m_1 рухається з прискоренням 2 м/с^2, а тіло масою m_2 – з прискоренням 5 м/с^2. З яким прискоренням під дією тієї самої сили будуть рухатися два тіла, якщо їх з'єднати?

8. Визначте силу удару футболіста по м'ячу масою 700 г, якщо тривалість удару 0,02 с, а прискорення м'яча 15 м/с^2.

9. Рух вагона описується рівнянням $x = 50 + t - 0{,}1t^2$ під дією сили 4 кН. Визначте його масу.

Я знаю, як користуватися табличними даними.

10. Використовуючи табличні дані, визначте імпульс різних тіл.

	Комар	**Електрон**	**Вовк**	**Людина**	**Кит**	**Автомобіль**	**Ракета**
m, кг	10^{-6}	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$	40	70	$150 \cdot 10^3$	1450	9700
υ, м/с	7	$7 \cdot 10^7$	16,66	1,4	11,11	45	7200

Я знаю, які є види механічної енергії і як вони перетворюються.

11. Визначте повну механічну енергію космічного корабля масою 2 т, який рухається з першою космічною швидкістю, що дорівнює 7,9 км/с, на висоті 300 км.

12. Визначте потенціальну та кінетичну енергії тіла масою 100 г, кинутого вертикально вгору зі швидкістю 15 м/с, через 2 с після початку руху.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Яке з рівнянь описує рух, під час якого швидкість тіла збільшується?

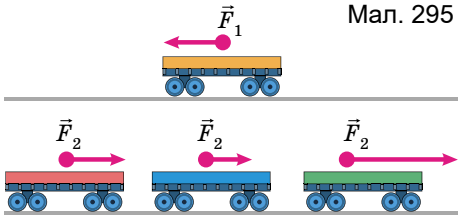
А $\upsilon = 3 + 20t$ **Б** $\upsilon = 3 - 2t$ **В** $\upsilon = -3 + t$ **Г** $\upsilon = 3 - 20t$

2. Тіло рухається без початкової швидкості з прискоренням 0,6 м/с^2. Який шлях воно пройшло за першу секунду?

А 0,3 м **Б** 0,6 м **В** 1 м **Г** 0,8 м

3. На малюнку 295 показано напрямок і точку прикладання сили F_1, яка діє на перший візок під час його зіткнення з другим. Укажіть, який з випадків показує правильний напрямок і точку прикладання сили F_2, що діє на другий візок.

Мал. 295



А **Б** **В**

4. Сила 40 Н надає тілу прискорення 0,5 м/с^2. Яка сила надає цьому тілу прискорення 1 м/с^2?

А 20 Н **Б** 80 Н **В** 40 Н **Г** 50 Н

5. Яка глибина колодязя, якщо камінь, що впав у нього, торкнувся дна через 1 с?

А 10 м **Б** 5 м **В** 20 м **Г** 15 м

6. Стрілу випущено з лука вертикально вгору зі швидкістю 10 м/с. На яку максимальну висоту вона підніметься?

А 5 м **Б** 10 м **В** 3 м **Г** 15 м

7. У скільки разів потрібно змінити відстань між тілами, щоб сила тяжіння зменшилась у 2 рази?

А збільшити в $\sqrt{2}$ разів **Б** зменшити в $\sqrt{2}$ разів
В збільшити у 2 рази **Г** зменшити у 2 рази

8. На якій відстані від Землі сила всесвітнього тяжіння, що діє на тіло, буде втричі меншою, ніж на її поверхні? Радіус Землі 6400 км.

А 6400 км **Б** 4480 км **В** 12 000 км **Г** 8000 км

9. Визначте прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює двом земним радіусам.

А 2,5 м/с^2 **Б** 5 м/с^2 **В** 4,4 м/с^2 **Г** 3 м/с^2

10. Візок масою 200 г рухається рівномірно по горизонтальній поверхні зі швидкістю 2 м/с. Визначте імпульс візка.

А 0,4 кг · м/с **Б** 0,2 кг · м/с **В** 4 кг · м/с **Г** 8 кг · м/с

11. Два катери однакової маси рухаються зі швидкостями υ і 3υ відносно берега. Визначте імпульс другого катера в системі відліку, пов'язаній з першим катером, якщо вони рухаються паралельно один одному в одному напрямку.

А $3m\upsilon$ **Б** $2m\upsilon$ **В** $m\upsilon$ **Г** $4m\upsilon$

12. Швидкість легкового автомобіля у 2 рази більша за швидкість вантажного, а маса вантажного автомобіля у 2 рази більша за масу легкового. Порівняйте значення кінетичної енергії легкового E_1 і вантажного E_2 автомобілів.

А $E_1 = E_2$ **Б** $E_1 = 2E_2$ **В** $E_2 = 2E_1$ **Г** $E_1 = 4E_2$ **Д** $E_2 = 4E_1$

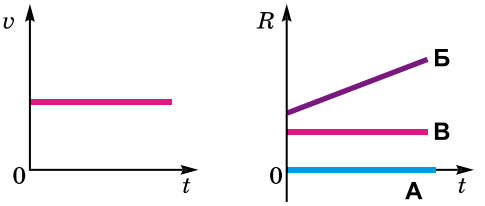
Варіант 2

1. Яке з рівнянь описує рух, при якому швидкість тіла зменшується?

А $\upsilon = 3 + 20t$ **Б** $\upsilon = 3 - 2t$ **В** $\upsilon = -3 + t$ **Г** $\upsilon = 3 - 20t$

2. Тіло рухається без початкової швидкості з прискоренням 0,6 м/с^2. Який шлях воно пройшло за другу секунду?

А 0,3 м **Б** 0,6 м **В** 1,2 м **Г** 0,8 м



Мал. 296

3. На малюнку 296 зображено графік залежності швидкості тіла від часу. Який з графіків показує залежність рівнодійної всіх сил, прикладених до цього тіла, від часу?

4. Сила 40 Н надає тілу прискорення 0,5 м/с^2. Яка сила надає цьому тілу прискорення 2 м/с^2?

А 20 Н **Б** 80 Н **В** 160 Н **Г** 50 Н

5. З якої висоти кинули камінь, якщо він упав на землю через 3 с?

А 45 м **Б** 90 м **В** 60 м **Г** 75 м

6. М'яч падає з висоти 80 м. Визначте час падіння м'яча.

А 5 с **Б** 2 с **В** 4 с **Г** 3 с

7. Як зміниться сила тяжіння між двома тілами, якщо масу одного з них збільшити в 4 рази?

А збільшиться в $\sqrt{2}$ разів **Б** зменшиться в 4 рази

В збільшиться в 4 рази **Г** зменшиться в $\sqrt{2}$ разів

8. У скільки разів сила тяжіння Землі, що діє на штучний супутник на поверхні, більша, ніж на висоті, яка дорівнює трьом радіусам над її поверхнею?

А у 9 разів **Б** у 25 разів **В** у 16 разів **Г** у 4 рази

9. Визначте прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює половині радіуса Землі. Радіус Землі дорівнює 6400 км.

А 4,4 м/с^2 **Б** 9,8 м/с^2 **В** 16,4 м/с^2 **Г** 12 м/с^2

10. М'яч масою 500 г летить зі швидкістю 5 м/с. Визначте імпульс м'яча.

А 0,5 кг · м/с **Б** 2,5 кг · м/с **В** 2 кг · м/с **Г** 1,5 кг · м/с

11. Два катери однакової маси рухаються зі швидкостями υ і 3υ відносно берега. Визначте імпульс другого катера в системі відліку, пов'язаній з першим катером, якщо вони рухаються паралельно один одному у протилежному напрямку.

А $3m\upsilon$ **Б** $m\upsilon$ **В** $4m\upsilon$ **Г** $2m\upsilon$

12. Швидкість легкового автомобіля в 4 рази більша за швидкість вантажного, а маса вантажного автомобіля у 2 рази більша за масу легкового. Порівняйте значення кінетичної енергії легкового E_1 і вантажного E_2 автомобілів.

А $E_1 = E_2$ **Б** $E_1 = 2E_2$ **В** $E_2 = 4E_1$ **Г** $E_1 = 8E$ **Д** $E_1 = 16E_2$

ФІЗИКА ТА ЕКОЛОГІЯ

§ 43. ФІЗИКА І ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Безпека життєдіяльності – це система базових знань з проблеми забезпечення оптимальних умов існування людини у природному, соціальному і техногенному середовищах, а також організаційних і технічних заходів та засобів на рівні окремої особи (колективу, держави), спрямованих на запобігання або мінімізацію загроз її життю та здоров'ю в усіх сферах діяльності.

Система безпеки життєдіяльності на рівні держави охоплює комплекс заходів і засобів, які є її складовими (підсистемами): це охорона навколишнього природного середовища; охорона здоров'я населення; безпека санітарно-епідеміологічна, пожежна, транспортна та радіаційна, біологічна; охорона праці. Діяльність кожної із цих підсистем регулює відповідний орган центральної виконавчої влади.

Охорона навколишнього природного середовища. Призначення цієї основної складової системи безпеки життєдіяльності полягає в підтримуванні стану довкілля, прийнятного для існування життя на Землі, збереженні природних ресурсів, обмеженні шкідливих викидів, сприянні гармонійному розвитку суспільства та природи.

У систему безпеки життєдіяльності людини входять: охорона здоров'я населення; санітарно-епідеміологічна безпека, основною метою якої є забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення, зменшення інтенсивності епідемій інфекційних захворювань. Контроль за використанням небезпечних речовин і матеріалів на виробництві, за якістю та безпекою харчових продуктів, лікарських засобів тощо здійснюють органи санітарно-епідеміологічного нагляду.

Входять також пожежна безпека; транспортна безпека; біологічна безпека, призначення якої – охорона довкілля, а також здоров'я і життя людей від небезпечних грибів, мікроорганізмів, вірусів, наслідків генетично-інженерної діяльності, генетично модифікованих організмів рослин, тварин та продуктів, що містять їхні складові.

Це також радіаційна безпека, основною метою якої є охорона життя і здоров'я населення, його майна, навколишнього середовища від негативного впливу йонізуючого випромінювання. Радіаційна безпека набуває особливого значення в умовах розвитку атомної енергетики та промисловості. Актуальність радіаційної безпеки в Україні зумовлюється також наслідками катастрофи на Чорнобильській АЕС.

Це також охорона праці, техніка безпеки на виробництві. Основну відповідальність за безпеку життєдіяльності людей на виробництві (підприємстві, в установі, організації, фірмі) покладено на роботодавця, який має створити безпечні умови праці для своїх працівників.

Отже, безпека життєдіяльності – це наука, покликана виявляти можливі причини та шляхи виникнення небезпеки, передбачати вірогідність

її виникнення, а також захищати людей від небезпеки, ліквідувати наслідки її проявів тощо. Ця наука ідентифікує небезпечні та шкідливі чинники навколишнього середовища, розробляє заходи, пов'язані зі створенням сприятливих умов для існування людини.

Безпека життєдіяльності людини – це комплексний науковий напрям, пов'язаний з багатьма іншими напрямами науки – анатомією, фізіологією, психологією, екологією, охороною здоров'я, виробничою санітарією і гігієною, технікою, економікою, соціологією тощо.

Ще на стадії проектування будь-якого механізму, машини, пристрою першою умовою його застосування розглядається безпека оператора – людини, яка управляє ними. Це стосується і крокуючого екскаватора, і електричного тостера тощо. Другою важливою умовою є зручність управління (використання), що забезпечує високий рівень працездатності оператора протягом тривалого часу. Третя умова – безпечність (або мінімальна шкідливість) для навколишнього середовища.

Головна мета безпеки життєдіяльності – сформувати в людини свідоме та відповідальне ставлення до питань особистої безпеки й безпеки тих, хто її оточує, навчити людину розпізнавати й оцінювати потенційні небезпеки, визначати шлях надійного захисту від них, у разі потреби вміти надавати допомогу собі та іншим, а також оперативно ліквідовувати наслідки прояву небезпек у різноманітних сферах людської діяльності.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке безпека життєдіяльності людини?
2. Що входить у систему безпеки життєдіяльності людини?

§ 44. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Термін «природокористування» розуміють як сукупність впливу людства на географічну оболонку Землі. Тобто мають на увазі сукупність усіх форм експлуатації природно-ресурсного потенціалу й заходів з його збереження. Тут виділяють три аспекти: а) видобуток і переробку природних ресурсів та їх відтворення; б) використання та охорону природного середовища; в) відновлення екологічної рівноваги природних систем.

Нинішню екологічну ситуацію в Україні можна схарактеризувати як кризову, що формувалася протягом тривалого періоду через нехтування об'єктивними законами розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. Відбувалися структурні деформації народного господарства, за яких перевага надавалася розвитку в Україні сировинно-видобувних, найбільш екологічно небезпечних галузей промисловості.

У процесі життя і господарської діяльності збільшується використання людиною компонентів природи, унаслідок чого посилюється «тиск» на природне середовище. У таких умовах постало важливе завдання – забезпечити раціональне використання природи та охорону довкілля.

Україна належить до держав, які мають великі обсяги і високу інтенсивність освоєння природних багатств. Значна концентрація виробництва і висока щільність населення негативно впливають на стан довкілля, формуючи напружену екологічну ситуацію.

Економіці України притаманна висока питома вага ресурсомістких та енергоємних технологій, упровадження та нарощування яких здійснювалося у найбільш «дешевий» спосіб – без будівництва відповідних очисних споруд. Це було можливо за відсутності ефективно діючих правових, адміністративних та економічних механізмів природокористування та без урахування вимог охорони довкілля.

Безліч негативних чинників, зокрема низький рівень екологічної свідомості суспільства, призвели до значної деградації довкілля України, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, повітря і земель, нагромадження у дуже великих кількостях шкідливих, у тому числі високотоксичних, відходів виробництва.

Такі процеси тривали десятиріччями і призвели до різкого погіршення стану здоров'я людей, зменшення народжуваності та збільшення смертності. Аналізуючи цю велику сукупність проблем, ми можемо зробити дуже важливі висновки щодо екологічної дійсності в нашій державі, виявити чинники й особливості життєдіяльності та природокористування. Проблема охорони довкілля та раціонального природокористування набуває в Україні першочергового значення внаслідок забруднення території радіонуклідами після аварії на Чорнобильській АЕС.

Що повніше використовуються природні ресурси, то ощадливіше й по-господарськи слід ставитися до їх експлуатації, особливо якщо йдеться про невідновлювані енергетичні ресурси. Незважаючи на те що кількість розвіданих копалин збільшується як загалом, так і в розрахунку на душу населення, існує загроза їх виснаження ще перед тим, як буде здійснено перехід на використання нових джерел енергії. Тим більше, що суспільство відчуває дедалі більший дефіцит відновлюваних природних ресурсів.

У зв'язку із цим раціональне використання і відтворення природних ресурсів стає однією з найактуальніших проблем людства. Поряд з глобальним, проблема охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів має яскраво виражений регіональний характер та відіграє особливу роль в інтенсифікації виробництва на основі прискорення науково-технічного прогресу.

Це вимагає поліпшення розробки питань управління, пов'язаних насамперед з діалектикою взаємодії продуктивних сил і виробничих відносин. Стосовно природокористування це означає послідовний розвиток наукових засад охорони навколишнього середовища і раціонального використання його ресурсів на основі таких принципів, як планомірність, пропорційність, оптимальність.

Планомірність стосовно використання природних ресурсів – економічна функція держави з управління і регулювання екологічних та економічних відносин і пропорцій. Така функція передбачає як розробку і виконання планової системи взаємопов'язаних показників, так і дієвий контроль за їх реалізацією. Перспективне і поточне планування раціонального використання природних ресурсів і охорони навколишнього середовища

в кінцевому підсумку випливає з накреслених темпів зростання сукупного суспільного продукту, національного доходу і підйому життєвого рівня населення країни.

Пропорційність означає погодженість у використанні природних ресурсів як за територією, так і за галузями народного господарства, виключення порушень природних взаємозв'язків у навколишньому природному середовищі.

Оптимальність у використанні природних ресурсів – це досягнення найкращого варіанта взаємовідносин суспільства з навколишнім середовищем.

Управління охороною навколишнього природного середовища, як зазначається в Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища», полягає у здійсненні в цій галузі функцій спостереження, дослідження, екологічної експертизи, контролю, прогнозування, програмування, інформування та іншої виконавчо-розпорядчої діяльності.

Метою управління в галузі раціонального природокористування є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних і комплексних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, досягнення погодженості дій державних і громадських органів у галузі навколишнього природного середовища.

Визначальними у виробничих відносинах, що складаються між людьми і природою, є їх суспільний характер. Тому функції з управління раціональним природокористуванням і планування його є однозначно прерогативою держави. Різні міністерства, комісії, відомства, комітети тощо в міру своєї компетенції здійснюють і підтримують єдину державну політику в галузі охорони навколишнього природного середовища.

Одне із центральних місць у регулюванні відносин з приводу охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів відводиться науково обґрунтованому поєднанню територіального і галузевого управління природоохоронною роботою. Підприємства, що залучають у господарський обіг природні ресурси, належать, з одного боку, до тієї чи іншої галузі народного господарства, а з другого – є ланками територіально-виробничих комплексів. Тому виникає потреба правильно поєднувати інтереси багатьох міністерств, відомств і місцевих територіальних органів, які повинні доповнювати одне одного, утворюючи єдину систему управління. Наприклад, відводячи землі під промислове, транспортне чи житлове будівництво, слід враховувати, що відчуження земель, особливо орних, призводить до скорочення площі сільськогосподарських угідь, знижує родючість ґрунту, зменшує валову продукцію сільського господарства тощо.

У системі управління природоохоронною діяльністю підприємства можна виділити планування, експлуатацію очисних споруд (включаючи технологічний процес) і контроль за викидами в навколишнє середовище. Проектування і планування дають змогу розробити комплекс потрібних заходів з охорони навколишнього середовища, їх виконання, серед яких нові вдосконалені технологічні процеси, роботи, очисні споруди, що знижують або виключають шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Управлінські функції в галузі природоохоронної діяльності підприємства повинні сприяти вдосконаленню технології виробництва, ремонтно-експлуатаційних робіт, безаварійної роботи устаткування, виконання планово-попереджувального та поточного ремонту.

Контроль включає в себе аналіз технології, лабораторний аналіз, контрольні пости, визначення концентрації шкідливих виділень, інформування керівництва про стан навколишнього середовища на підприємстві, дотримання законодавства в цій галузі.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що означає термін «природокористування»?
2. Які основні екологічні проблеми на сьогодні існують в Україні?
3. Яких основних заходів потрібно вжити, щоб поліпшити екологічний стан навколишнього середовища?

§ 45. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

У пошуках альтернативних джерел енергії чимало уваги у світі приділяється вітроенергетиці. Вітер слугував і слугує людству протягом тисячоліть, забезпечуючи енергію для вітрильних суден, для розмелювання зерна, перекачування води, виробництва електроенергії. Наприклад, у Данії вітроенергетика покриває близько 2 % потреб країни в електроенергії. У США на кількох станціях працює майже 17 тис. вітроагрегатів загальною потужністю до 1500 МВт. Вітроенергетичні установки (мал. 297) випускають, окрім США і Данії, у Великій Британії, Канаді, Японії.

Для того щоб будівництво вітроелектростанції було економічно виправданим, потрібно, щоб середньорічна швидкість вітру в цьому районі становила не менше ніж 6 м/с. У нашій країні вітрові електростанції (ВЕС) побудовано на узбережжях Чорного й Азовського морів, у степових районах, а також у горах Криму і Карпат.

Слід звернути увагу на те, що при швидкості вітру 33 км/год подовження крила пропелера в 4 рази (від 15 до 60 м) збільшує виробництво енергії в

Мал. 297

16 разів. А якщо крило завдовжки 30 м, вітер зі швидкістю 50 км/год забезпечує виробництво електроенергії у 26 разів більше, ніж вітер зі швидкістю 17 км/год. Саме тому в інженерній справі схиляються на користь великих вітродвигунів і прагнуть «перехопити» вітер на значній висоті.

Більшість нинішніх великих вітродвигунів розраховано на роботу, якщо швидкість вітру 17–58 км/год. Вітер зі швидкістю, меншою за 17 км/год, дає мало корисної енергії, а при швидкостях понад 58 км/год можливе пошкодження електрогенератора.

Тож у вітроенергетиці не слід розраховувати на перехоплення штормових вітрів. Навіть якщо такий вітер і забезпечує одержання набагато більшої кількості енергії, ніж слабкі вітри, він спричиняє занадто сильний тиск на крила й може пошкодити устаткування електростанції. Окрім того, тривалість часу, коли дмуть штормові вітри, така мала, що їхній внесок у сумарне виробництво енергії несуттєвий, і це робить подібний ризик безглуздим. Щоб усунути проблему штормових вітрів, крила вітродвигунів вигинають особливим чином – для зменшення опору вітру. Ця стара практика відома як «оперення».

Вітрогенератори зазвичай установлюють на високих вежах, щоб пропелери були відкриті більш сильним вітрам, що дмуть на великій висоті. А важке устаткування – пропелер, коробка передач і генератор – мають розміщуватися на верхівці щогли, що вимагає ще й міцної конструкції.

Ще одну проблему використання енергії від вітродвигуна створює природа самого вітру. Швидкість вітру варіює в широких межах – від легкого подуву до могутніх поривів. У зв'язку із цим, змінюється й число обертів генератора за секунду. Для зручності змінний струм, що виробляється під час обертання осі генератора, «випрямлюють», тобто перетворюють у постійний, що йде в одному напрямку. За великих розмірів вітродвигуна постійний струм у перетворювачі змінюють на стабільний змінний струм, придатний для подачі в енергетичну систему. Невеликі ж вітродвигуни, на кшталт тих, що використовують на ізольованих фермах чи на морських островах, замість перетворювача подають «випрямлений» струм у великі акумуляторні батареї. Такі акумулятори потрібні для запасання електроенергії на періоди, коли вітер стає недостатньо сильним для виробництва енергії.

Для підтримки життєвих процесів потрібно поглинати і використовувати енергію. На жаль, використання будь-якого виду енергії та виробництво електроенергії зазвичай супроводжуються утворенням багатьох забруднювачів води і повітря. Щоб уникати руйнування навколишнього середовища, людство дедалі більше звертає увагу на екологічно чисті види енергії.

Цікаво, що всього двісті років тому людство, крім енергії самої людини і тварин, володіло тільки трьома видами енергії. Серед них було використання енергії Сонця.

У міру того як постачання палива стає менш надійним і більш дорогим, це джерело стає щораз привабливішим та економічнішим. Підвищення цін на нафту й газ є головною причиною того, що людство знову звернуло свою увагу на Сонце.

Сонячна енергія – це кінетична енергія випромінювання (в основному світла), що утворюється в результаті реакцій у надрах Сонця. Оскільки

її запаси практично невичерпні (астрономи підрахували, що Сонце буде «горіти» ще 4–5 мільярдів років), вона належить до поновлюваних енергоресурсів. У природних екосистемах лише частина сонячної енергії поглинається хлорофілом, що міститься в листках рослин, і використовується для фотосинтезу, тобто утворення органічної речовини з вуглекислого газу і води. Рослини частково використовують для своїх потреб лише фотосинтетично активну радіацію, яка загалом складає майже 50 % сумарної енергії сонячного випромінювання. Таким чином, випромінювання вловлюється і запасається у вигляді потенціальної енергії органічних речовин. За рахунок їхнього розкладання задовольняються енергетичні потреби всіх інших компонентів екосистем.

Підраховано, що приблизно такої самої частки сонячної енергії цілком достатньо й людині – для забезпечення потреб транспорту, промисловості й побуту не тільки зараз, але й у майбутньому. І навіть незалежно від того, будемо ми нею користуватися чи ні, на енергетичному балансі Землі й стані біосфери це ніяк не позначиться. Однак сонячна енергія потрапляє на всю поверхню Землі, ніде не досягаючи особливої інтенсивності. Тому її потрібно вловити на порівняно великій площі, сконцентрувати і перетворити в таку форму, яку можна використовувати для промислових, побутових і транспортних потреб. Крім того, треба вміти запасати сонячну енергію, щоб підтримувати енергопостачання і вночі, і у хмарні дні.

Головне – використовувати сонячну енергію так, щоб її вартість була мінімальна або взагалі дорівнювала нулю. З огляду на вдосконалення технологій і подорожчання традиційних енергоресурсів, ця енергія знаходить дедалі нові галузі застосування.

Наприклад, сонячні нагрівальні системи (сонячні батареї, сонячні колектори) дуже рентабельні, і є сенс включати їх у проекти всіх нових будинків. У такому випадку з'явиться можливість перекинути частину вугілля, газу, мазуту, споживаного в побутових цілях, на потреби промисловості, транспорту. А це могло б розв'язати проблему майбутнього дефіциту сирої нафти, потрібної для виробництва автомобільного пального тощо.

Сонячний колектор (мал. 298) – це система нагрівання води за рахунок сонячного випромінювання. Такі системи є доволі розповсюдженими.

Мал. 298

Їх було розроблено близько двохсот років тому. Сонячні колектори різного типу дають змогу отримати теплову енергію, яка насамперед використовується для нагрівання води, що особливо актуально в літній період року, коли спостерігається максимальна сонячна активність. Крім того, в окремих випадках під час побудови комбінованих котельних установок тепло від сонячних колекторів частково можна використовувати в різних системах опалення.

Морські припливи і тепло Землі. Це більш постійні джерела енергії. Уже тепер у деяких країнах працюють екологічно безпечні, чисті припливні електростанції. Загальна потужність хвиль Світового океану складає 90 000 млрд кВт. У багатьох країнах – США, Японії, Італії, Ісландії – використовують й енергію гарячих природних джерел – гейзерів.

Відомо, що на глибині 10 км температура сягає 140–150 °С, і цю енергію можна відводити за допомогою пари, використовуючи її для опалення.

Геотермальна енергетика розвивається досить інтенсивно у США, на Філіппінах, у Мексиці, Ісландії, Італії, Японії. Найпотужнішу ГеоТЕС (50 МВт) побудовано у США – ГеоТЕСХебер. Загалом запаси геотермальної енергії складають 200 ГВт. Геотермальні ресурси розподілено нерівномірно, й основна їх частина зосереджена в районі Тихого океану.

Біомаса відіграє домінуючу роль серед інших видів альтернативних видів енергії, формуючи приблизно 46 % від ринку відновлюваних джерел енергії. Вона може забезпечувати виробництво тепла, електроенергії та різних видів газоподібного (біогаз), рідкого (біоетанол, біодизель) та твердого палива. Технології переробки біомаси дають змогу також розв'язувати проблему утилізації шкідливих побутових та промислових відходів, одержувати як побічні продукти високоякісні добрива, будівельні та інші корисні матеріали. Так, за рахунок біогазу вже сьогодні у країнах ЄС отримують щороку понад 10 млн МВт · год електричної та майже 10 млн Гкал теплової енергії. Лідерами з використання біогазових технологій є такі країни, як Німеччина, Велика Британія, США, Канада, Бразилія, Данія, Китай, Індія та ін.

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке альтернативні джерела енергії?
2. Які види альтернативної енергії ви знаєте?
3. Що таке вітроенергетика?
4. Як використовують енергію вітру?
5. Як використовують енергію Сонця?
6. Де зосереджено запаси енергії припливів і відпливів?

ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ НАВКОЛО НАС

1. Для чого кінці деяких викруток намагнічують?

2. Де використовують постійні магніти в побуті?

3. Пригадайте вчинок Негоро з роману Жуля Верна «П'ятнадцятирічний капітан». Чому корабель збився з курсу?

4. Що, на думку вчених, допомагає птахам, які здійснюють тривалі перельоти, правильно дотримуватися курсу польоту?

5. Чому птахи під час перельотів уникають зустрічі з великими радіостанціями, радарними установками?

6. До магнітної стрілки наблизили один з полюсів магніту, і південний полюс стрілки відштовхнувся. Який полюс магніту наблизили до стрілки?

7. Чи можна за допомогою електромагнітного крана переміщувати розжарені залізні болванки?

8. Назвіть основні частини, з яких складається електродвигун постійного струму. Поясніть принцип його дії.

9. На затискачах магнітоелектричного приладу знаками «+» і «–» вказують полярність. Що відбудеться, якщо під час вмикання приладу змінити полярність?

10. Розгляньте будову іграшкового електродвигуна. Складіть його, приєднайте до клем гальванічного елемента і зверніть увагу на напрямок обертання якоря. Спробуйте змінити напрямок обертання якоря на протилежний. Що при цьому відбувається?

11. Чому телефонний провід не варто розміщувати поблизу проводів змінного струму?

12. Відомо, що дельфіни видають характерні звуки, які людина не чує. Як їх можна досліджувати?

13. Яка вода краще відбиває радіохвилі – річкова чи морська?

14. Чи можна побачити світло зорі, яка вже давно згасла?

15. Чому в спеку деякі предмети здаються розмитими?

16. У ясний день, коли Сонце знаходиться високо над горизонтом, здається, що ставок немовби освітлений ізсередини. Як це пояснити?

17. Шар пилу добре видно на чорній лакованій поверхні, якщо на неї дивитися збоку, і не помітний, якщо на поверхню дивитися так, щоб промінь зору був перпендикулярним до поверхні. Чим це зумовлено?

18. За всіх інших однакових умов у хмарний день після того, як Сонце зайшло за обрій, темніє пізніше, ніж у ясний. Чому?

19. Як можна прискорити танення льоду?

20. Чому комахи, які живуть у полярних краях, на високогір'ї, мають темне забарвлення?

21. Чому білий ведмідь не осліплюється блиском снігу та льоду в сонячні дні?

22. Яку небезпеку для зору людей, які живуть у полярних широтах, становить сніг?

23. Чому, коли ми сидимо біля багаття, нам здається, що предмети, які знаходяться за ним, коливаються?

24. Яким способом, крім утечі, захищається від нападу кальмар?

25. Які тварини, що є джерелом холодного свічення, ви знаєте?

26. У сонячні дні після дощу на листі дерев іноді утворюються опіки. Чому це відбувається?

27. У сонячні дні на поверхні дна мілких водойм чи річок часто можна спостерігати рухомі темні й світлі смужки, що чергуються. Яке їх походження?

28. Жуки-вітрячки живуть у воді, але є частими гостями на суходолі. Навіщо природа дала їм дві пари очей?

29. Як визначити, для якого зору призначено окуляри, якщо не торкатися їхнього скла руками?

30. Як визначити за допомогою пальців рук, для якого зору призначено окуляри?

31. Чому під час польоту трасуючої кулі вночі видно світну лінію-слід?

32. Якщо подивитися на яскраве джерело світла і заплющити очі, а потім швидко розплющити їх, можна побачити зображення джерела світла на інших предметах. Як пояснити це явище?

33. Кришталик ока людини чи риби сильніше заломлює світло?

34. Яка людина краще бачить під водою – далекозора, короткозора чи з нормальним зором?

35. Завдяки чому кіт може спокійно дивитися на Сонце, добре бачить навіть у суцільній темряві?

36. Як користуватися бінокле людині, яка носить окуляри, – з окулярами чи без них?

37. Чи завжди опукла лінза збирає промені, а вгнута – розсіює?

38. Чому очі кішки яскраво світяться в темряві, якщо на них направили світловий промінь?

39. Чому у фонтані води можна часто спостерігати веселку?

40. Чому кристалики снігу, які виблискують сонячного дня, здаються променистими, причому ці промені різнокольорові?

41. Білий камінь, що лежить на дні глибокої водойми з прозорою водою, здається блакитним, а нижня частина його має червонуватий колір. Поясніть це явище.

42. Чим пояснюється жовтуватий відтінок сонячного світла?

43. У той час як туман здається білуватим, Сонце крізь нього видно у вигляді червоного диска. Поясніть це явище.

44. Під час заходу Сонця небо на заході спочатку стає жовтуватим, потім – оранжевим, а потім – яскраво-червоним. Як це можна пояснити?

45. Який колір має вода в чистій прозорій водоймі?

46. Чому фари, які вмикають у туманну погоду, виготовляють із жовтого скла?

47. Чи однакова швидкість поширення червоного й фіолетового випромінювань у вакуумі, у воді?

48. Чи володіє дисперсією світловий пучок?

49. Чи можна отримати спектр білого світла за допомогою скляних пластинок?

50. Доведіть, що під час переходу світлового променя з одного середовища в інше, показники заломлення яких різні, довжини хвиль пропорційні швидкостям поширення світла в цих середовищах.

51. Яке тіло називають білим? Яке тіло називають чорним?

52. Яким здаватиметься колір зеленого листя, якщо дивитися на нього через червоний або зелений світлофільтр?

53. Чому вдень при яскравому сонячному світлі на великій глибині в морях і океанах темно?

54. Коричневий колір відсутній у суцільному спектрі. Як виникає цей колір?

55. Як впливають перша і друга поверхні призми на розкладання білого світла на спектр?

56. Білий промінь світла переходить із скляної призми в повітря. Що при цьому відбувається?

57. Що бачить людина, яка розглядає крізь скляну призму лінію на білому папері?

58. На чорний екран наклеїли горизонтальну вузьку смужку білого паперу. Якими здаватимуться верхній і нижній краї цього паперу, якщо на нього дивитися крізь призму, обернену заломлюючим ребром угору?

59. У посудину із зеленого скла налите червоне чорнило. Якого кольору здається чорнило? Чому?

60. Поясніть походження кольору синього паперу, синього світлофільтра, блакитного неба.

61. Як пояснити білий колір снігу, чорний колір сажі, зелений колір листя, синьо-жовтий колір прапора?

62. Для чого під час прання білизни у воду додають «синьку»?

63. Якого кольору будуть трава і листя дерев, якщо розглядати їх через фіолетовий світлофільтр?

64. Світлофор дає три сигнали: червоний, жовтий, зелений, хоча всередині нього встановлено звичайні лампи розжарювання або світлодіодні. Чому і як утворюються різноколірні сигнали світлофора?

65. Чому на транспорті сигнал небезпеки червоного кольору?

66. Деякі автомобілі мають додаткові протитуманні фари жовтого кольору. Чому такі фари освітлюють дорогу в туманну погоду?

67. Стрічка, що має при денному світлі світло-синій колір, при світлі свічок здається іншого кольору. Який цей колір, чому так?

68. Чому із Землі небо здається блакитним, а з Місяця – чорним?

69. Чому художники пишуть фарбами тільки при денному освітленні?

70. Чому стовп диму від тліючого сухого листя на темному тлі з країв здається синім, а посередині – майже білим, а на тлі світлого неба – жовтим?

71. Під час тривалих посух, великих лісових пожеж тощо в сонячні дні небо – білуватого відтінку. Чому?

72. Чому небо після дощу має особливо чистий синій колір?

73. Чому купчасті хмари, що розміщені ближче до спостерігача, здаються білими, а віддалені – жовтуватими?

74. На чому ґрунтується прикмета: якщо блискавка має червонуватий відтінок, то гроза далеко, а якщо вона фіолетова, то гроза близько?

75. Чому шлагбауми фарбують у білі й чорні кольори?

76. Як впливає осіннє забарвлення листя на його тепловий режим?

77. Чому в більшості ящірок хвіст має набагато яскравіший колір, ніж усе тіло?

78. Чому високо в горах людина засмагне швидше?

79. В одному з дослідів після того, як рослини рису піднялися над поверхнею води, їх посипали порошком люмінофору. При цьому бур'яни, які були під водою, загинули. Яка причина цього явища?

80. Для захисту портових споруд від морських хвиль акваторію порту захищають суцільною кам'яною стіною-молом. Чому не можна обмежитися встановленням тільки окремих паль, розділених проміжками, які поглинали б енергію морських хвиль?

81. У відрі несуть воду. Якщо відро починає сильно розгойдуватися і вода виплескується, то досить змінити частоту кроків, щоб це явище припинилося. Чому?

82. Коли дисковою пилкою починають пиляти дошку, чути високий звук. У міру того як пилка входить у дошку, звук знижується. Чому?

83. Як пояснити, що звуки оркестру, різні за висотою тони, доходять до слухача одночасно?

84. Для чого смичок перед грою натирають каніфоллю?

85. Чому іноді кажани сідають на голови людей?

86. Голос чути на значній відстані, але слів іноді розібрати не можна. Чим це пояснити?

87. Яка з морських істот і завдяки чому відчуває наближення шторму?

88. Метелик-капустяник робить 9 помахів крил за секунду, джміль – 240, муха – 330, бджола – 400, комар – 600, комар-товкунчик – 800. У кого з них і чому звук польоту найтихший?

89. Тріск, що доходить до вуха, коли розламують сухар, здається ледве чутним. А коли ми кусаємо сухар, тріск перетворюється у справжній гуркіт. Чим це пояснюється?

90. Поясніть, як утворюється звук у трубах духового оркестру.

91. Чому в лісі важко орієнтуватися за голосом?

92. Чому на березі моря постріли з кораблів чути вдвічі краще?

93. Жаби – тварини загалом дрібні. За рахунок чого вони видають такі гучні звуки?

94. У природі є метелики, тіло яких укрите спеціальною речовиною, що не відбиває ультразвукові коливання. Яку це відіграє роль для безпеки метелика?

95. Люди, які живуть на острові Ява, можуть передбачити наближення землетрусу, спостерігаючи за передчасною появою бутонів королівської примули («квітки землетрусу»). Із чим пов'язане це передбачення?

96. Яку роль відіграє хвіст у бобра?

97. Як діє радіоактивне випромінювання на живі організми?

98. Що застосовують для захисту від радіоактивного випромінювання?

99. Що є джерелом енергії зірок?

100. Згідно з третім законом механіки, якщо кінь тягне воза, то віз із такою самою силою тягне й коня. Чому саме кінь тягне воза, а не віз коня?

101. Людина стрибнула з великого моторного човна на берег річки. Що можна сказати про швидкості, які отримали човен і тіло людини?

102. Відомо, що кішка в момент падіння завжди приземлюється на лапи. Який закон фізики вона при цьому використовує?

СЛОВНИК ФІЗИЧНИХ ТЕРМІНІВ

Акомодація – пристосування ока до чіткого бачення предметів, що розміщені на різній відстані від нього.

Активність (A) – основна фізична величина, що характеризує радіоактивне джерело: $A = \frac{N}{t}$.

Акустика – учення про виникнення, поширення і сприйняття звукових хвиль.

Висота тону визначається частотою коливань. Коливання високої частоти сприймаються як звуки високого тону, коливання низької частоти – як звуки низького тону.

Відбивання світла – явище, коли світло падає на поверхню якого-небудь тіла і частина його відбивається від поверхні та поширюється у просторі.

Головна оптична вісь – пряма, що проходить через центри сферичних поверхонь, які обмежують лінзу.

Гравітація – явище всесвітнього притягання тіл.

1 грей дорівнює поглинутій дозі, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж; 1 Гр = 1 Дж/кг.

Гучність звуку визначається амплітудою коливань тіла, що звучить.

Джерела світла – тіла, які випромінюють світло.

Дисперсія світла – залежність швидкості світла в речовині від частоти проходження світла або довжини хвилі.

Довжина хвилі – відстань між двома найближчими точками, які здійснюють однакові коливання.

Другий закон Ньютона: сила, що діє на тіло, визначається добутком маси тіла і його прискорення, наданого цією силою.

Еквівалентна доза – поглинута доза, помножена на коефіцієнт K, що відображає здатність випромінювання певного типу чинити дію на тканини організму.

Експозиційна доза – кількісна характеристика γ- і рентгенівського випромінювань, яка ґрунтується на їх йонізуючій дії і визначається сумарним електричним зарядом йонів одного знака, утворених в одиниці маси повітря.

Електромагнітна індукція – явище виникнення електричного струму в замкнутому контурі, який або нерухомий у змінному магнітному полі, або переміщується в постійному магнітному полі так, що кількість ліній магнітної індукції, які перетинають площу, обмежену контуром, змінюється.

Електромагнітне поле – особлива форма матерії. Воно існує реально, тобто незалежно від нас, від наших знань про нього. Його можна виявити тільки за допомогою спеціальних приладів.

Енергія зв'язку ядра – найменше значення енергії, яка забезпечує розщеплення ядра на складові частинки.

Закон відбивання світла: промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр, проведений у точку падіння світла, лежать в одній площині. Кут відбивання променя дорівнює куту падіння світла.

Закон всесвітнього тяжіння: сила гравітаційного притягання будь-яких двох частинок прямо пропорційна добутку їх мас і обернено пропорційна квадрату відстані між ними: $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$.

Закон заломлення світла: падаючий і заломлений промені лежать в одній площині з перпендикуляром, проведеним до площини поділу двох середовищ у точку падіння світла; залежно від того, з якого середовища в яке переходить промінь, кут заломлення променя може бути більшим або меншим за кут падіння.

Закон збереження імпульсу: геометрична сума імпульсів тіл, що є складовими замкнутої системи, залишається сталою при будь-яких взаємодіях тіл цієї системи між собою.

Закон прямолінійного поширення світла: світло в однорідному оптичному середовищі поширюється прямолінійно.

Заломлення світла – зміна напрямку поширення світла при його переході через межі поділу двох оптично прозорих середовищ.

Збиральна лінза – лінза, яка світлові промені, що падають на неї паралельно її головній оптичній осі, після заломлення збирає на цій осі в одну точку.

Звук – це механічні коливання будь-якої частоти в пружному середовищі.

Зображення предмета – це відтворення виду, форми і кольору предмета світловими променями, що пройшли через оптичну систему лінз, які мають одну загальну оптичну вісь.

Ізотопи – різновиди атомів хімічного елемента, ядра яких містять однакову кількість протонів і неоднакове число нейтронів.

Імпульс сили – векторна фізична величина, яка характеризує дію сили за певний інтервал часу.

Імпульс тіла – векторна фізична величина, яка характеризує рух і визначається добутком маси тіла та його швидкості.

Індукційний струм – електричний струм, що виникає у провідному контурі при зміні магнітного поля через цей контур унаслідок явища електромагнітної індукції.

Інерціальні системи відліку – системи відліку, у яких виконується перший закон Ньютона.

Інерція – явище збереження швидкості тіла за відсутності дії на нього інших тіл.

Інфразвук – коливання, частота яких менша за найнижчу частоту звукових коливань, тобто менша за 16 Гц.

Йонізуюче випромінювання – випромінювання, яке під час взаємодії з речовиною спричиняє йонізацію складових його атомів і молекул, тобто перетворює нейтральні атоми або молекули на йони.

Корона Сонця – частина розжареної сонячної атмосфери.

Ланцюгові ядерні реакції – ядерні реакції, під час яких частинки, що їх спричинюють, утворюються як продукти цих реакцій.

Лінза – прозоре тіло, обмежене двома опуклими або вгнутими прозорими поверхнями, які заломлюють промені світла.

Лінії магнітного поля (магнітні лінії) магніту – уявні замкнені лінії, які виходять з північного полюса магніту і входять у південний, замикаючись усередині магніту.

Лінії магнітного поля струму – замкнені лінії, які оточують провідник зі струмом.

Лупа – оптичний прилад, що є збиральною лінзою, вживаною для розгляду дрібних деталей, погано помітних неозброєним оком.

Магніт – тіло, яке має магнітні властивості.

Магнітна буря – зміна магнітного поля Землі, що виникає в періоди підвищеної сонячної активності.

Мікроскоп – оптичний прилад для розглядання дрібних предметів та їх деталей.

Музичний тон, або просто **тон**, – звук, створений тілом, що гармонійно коливається.

Нукліди – ядра атомів.

Нуклони – частинки, які входять до складу атомного ядра.

Оптика – учення про світло і світлові явища.

Період піврозпаду – інтервал часу, за який вихідне число радіоактивних ядер у середньому зменшується вдвічі.

Перший закон Ньютона: існують такі системи відліку, відносно яких тіло, що рухається поступально, зберігає свою швидкість сталою, якщо на нього не діють інші тіла (або дії інших тіл компенсуються).

Півтінь – частково освітлений простір, що утворюється навколо тіні на екрані.

Повне внутрішнє відбивання – явище, коли промені світла не виходять із середовища і повністю відбиваються всередину.

Поглинута доза випромінювання (*D*) – відношення поглинутої дози енергії E до маси m опроміненої речовини: $D = \frac{E}{m}$.

Поділ атомних ядер – особливий вид ядерних реакцій, коли ядро важкого елемента ділиться на дві частини, одночасно випромінюючи два-три нейтрони, γ-випромінювання і значну кількість енергії.

Поздовжні хвилі – хвилі, у яких частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі.

Полюси магніту – місця магніту, де магнітна дія виявляється найсильнішою.

Поперечні хвилі – хвилі, у яких частинки коливаються в напрямку, перпендикулярному до напрямку їх поширення.

Правило лівої руки: якщо долоню лівої руки розмістити так, щоб чотири випрямлені пальці вказували напрямок струму в провіднику, а лінії

магнітного поля входили в долоню, то відведений під прямим кутом великий палець укаже напрямок сили Ампера, що діє на провідник зі струмом.

Правило правої руки: якщо долоню правої руки розмістити так, щоб у неї входили лінії магнітного поля, а відведений під прямим кутом великий палець указував напрямок руху провідника, то випрямлені чотири пальці руки визначать напрямок індукційного струму в провіднику.

Правило свердлика: якщо напрямок поступального руху свердлика збігається з напрямком струму, то напрямок обертання ручки свердлика збігається з напрямком магнітних ліній.

Приймачі світла – тіла, чутливі до світла.

Прискоренням тіла в його рівноприскореному прямолінійному русі називають векторну фізичну величину, що характеризує зміну швидкості за одиницю часу і визначається відношенням зміни швидкості руху тіла до інтервалу часу, протягом якого ця зміна відбулася: $\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.

Промінь світла – лінія, уздовж якої поширюється світло.

1 рад – доза, при якій опроміненій речовині масою в 1 кг передається енергія 10^{-2} Дж.

Радіоактивність – явище спонтанного (самочинного) перетворення нестійких ядер одного елемента в ядра іншого елемента, яке супроводжується випромінюванням різних частинок і електромагнітних хвиль.

Реактивний рух – рух, який виникає при відділенні від тіла деякої його частини з певною швидкістю.

1 рентген – така експозиційна доза рентгенівського чи γ-випромінювання, при якій в 1 $см^3$ сухого повітря ($1{,}29 \cdot 10^{-6}$ кг) при 0 °С і тиску 760 мм рт. ст. утворюються йони, які мають заряд кожного знака, що дорівнює $3{,}34 \cdot 10^{-10}$ Кл.

Рентгенівське випромінювання – короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0,01 нм. В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання розміщений між ультрафіолетом та γ-променями.

Рівноприскорений рух – рух тіла, під час якого його швидкість за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково.

Розсіювальна лінза – лінза, яка світлові промені, що падають на неї паралельно її головній оптичній осі, після заломлення відхиляє від цієї осі.

Телескоп – оптичний прилад для астрономічних досліджень космічних об'єктів.

Термоядерні реакції – реакції синтезу (злиття) легких ядер за дуже високої температури.

Тінь – частина простору за непрозорим предметом, куди не проникає світло.

Точкове джерело світла – джерело світла, розміри якого набагато менші за відстань від джерела світла до екрана.

Третій закон Ньютона: сили, з якими які-небудь два тіла діють одне на одне, завжди рівні за значенням, але протилежні за напрямком.

Ультразвук – коливання, частота яких більша за найвищу частоту звукових коливань, тобто більша за 20 000 Гц.

Фази Місяця – різні форми видимої із Землі частини Місяця.

Феромагнетики – речовини, які значно підсилюють зовнішнє магнітне поле (у сотні й тисячі разів).

Фокус – точка на головній оптичній осі, де збираються світлові промені (або їх продовження), спрямовані на лінзу паралельно головній оптичній осі.

Фокусна відстань лінзи – відстань від фокуса до оптичного центра лінзи.

Фотоапарат – оптичний прилад, за допомогою якого на цифровому пристрої, фотоплівці, фотопластині, фотопапері отримують зображення предмета.

Хвиля – процес поширення коливань у будь-якому середовищі. Хвиля – це зміна стану середовища, яка поширюється в просторі й переносить енергію.

Швидкість радіоактивного розпаду, або **активність радіоактивного препарату**, – число розпадів, що відбуваються за одиницю часу.

Шкала електромагнітних хвиль – безперервна послідовність частот і довжин хвиль електромагнітних випромінювань.

Шум – сукупність коливань різних частот.

Ядерна енергетика – здійснюване у промислових масштабах перетворення ядерної енергії в інші види (механічну, електричну тощо), які використовують для виробничих і побутових потреб.

Ядерний реактор – пристрій, у якому відбувається керована ланцюгова реакція, що супроводжується виділенням енергії.

Ядерні ланцюгові реакції – ядерні реакції, під час яких частинки, що їх спричинюють, утворюються як продукти цих реакцій.

Ядерні реакції – зміна атомних ядер у результаті їх взаємодії з елементарними частинками або між собою.

Ядерні сили – сили, які утримують частинки в ядрі.

ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ І ВПРАВ

1. в) залізо (цвях, скріпка, гвинт); е) сталевий циркуль. **2.** Будуть притягуватися один до одного. **4.** Для сортування магнітних і немагнітних предметів. **6.** Ні. **9.** Голки намагнічуються і взаємодіють однаковими полюсами. **13.** Тріщини є полюсами. **14.** Щоб корпус не впливав на покази магнітної стрілки. **17.** За допомогою магніту. **18.** Так. **20.** За допомогою магнітів. **21.** Буде обертатися. **25.** Проти годинникової стрілки. **27.** Тому що котушка має більше витків. **31.** Відбулося перемагнічення вантажу. **34.** У правій – до нас, у лівій – від нас. **37.** Від нас. **39.** Зліва – південний, справа – північний. **42.** Стержень буде коливатися. **43.** Мал. 108 – приймач світла; мал. 109 – джерело світла. **44.** Джерело ліворуч є точковим. **47.** На мал. 113, *а* – часткове затемнення Місяця; на мал. 113, *б* – повне затемнення Місяця. **50.** Щоб вони не «засвітилися». **53.** Єдина лампа виступає в ролі точкового джерела. **56.** Верхній ряд – повне затемнення Сонця; нижній ряд – часткове затемнення Сонця. **62.** Тому що дзеркала мають викривлені поверхні. **64.** Товщина дзеркала. **66.** Ні. **67.** Розсіяне. **72.** Перпендикулярно до поверхні дзеркала. **73.** 45°. **75.** Може. **77.** Це пояснюється заломленням світлових променів. **80.** Явище повного відбивання світла. **84.** Це пояснюється заломленням і відбиванням світла. **87.** *Б*, *В*, *А*. **90.** Чорно-біле. **91.** Так. **95.** На Місяці немає атмосфери. **100.** Чорного. **105.** Захворюванням, яке має назву дальтонізм. **109.** Можна. **111.** Збиральну. **117.** Між фокусом і подвійним фокусом. **120.** Так. **121.** У 600 разів. **123.** Короткозорість. **128.** Фотоапарат. **132.** 0,5 с; 2 Гц. **133.** 8 м. **134.** 20 м/с. **135.** 4 с. **138.** Витягнутої форми. **141.** 0,5 с; 2 Гц. **142.** Так. **145.** Мухи; 1/330 с; 1/2 с. **146.** 48,8 с; 3 с. **147.** Ні. **149.** Інфразвуків; 1/9 с. **151.** 2175 м. **155.** Ні. **158.** Комар. **164.** Звук поширюється повільніше, ніж світло. **171.** Вони відчувають інфразвуки. **177.** $0{,}54 \cdot 10^6$ м. **179.** Ні. **183.** Завдяки його дослідам щодо будови атома. **189.** 0,5 год. **193.** Свинець найкраще поглинає всі види випромінювання. **195.** У Дніпропетровській і Кіровоградській областях. **202.** На 2 м/с. **203.** Прискорено. **204.** Сповільнено. **206.** г); д). **207.** $v_0 = 10$ м/с; $a = 6$ м/с^2; $v_x = -10 + 6t$, м/с. **208.** $v_0 = 3$ м/с; $a = 1$ м/с^2. **209.** I – рівномірний, $a_1 = 0$; II – рівноприскорений, $a_2 = 2$ м/с^2; $\Delta t = 5$ с; $x_1 = 10t$, м; $x_2 = t^2$, м. **210.** 90 см. **211.** За другу секунду. **212.** Через 50 с. **213.** $v = 6$ м/с; $v_c = 3$ м/с. **214.** $v_0 = 3$ м/с; $v_1 = 8$ м/с. **215.** *АВ* – рівноприскорений, $a = 3$ м/с^2, $v_0 = 12$ м/с, $v = 18$ м/с; *ВС* – рівномірний, $a = 0$, $v_0 = 18$ м/с. **216.** $a_{x1} = 1$ м/с^2; $a_{x2} = 0$; $a_{x3} = -1{,}5$ м/с^2. **217.** Рівноприскорений; рівномірний; 3 с; 5 с; 24 м; 40 м. **220.** 34,3 м. **224.** 3,33 м/с^2. **225.** 158 с. **226.** Під час рівномірного руху – горизонально; прискореного й сповільненого руху потяга – під кутом. **227.** 40 м/с^2. **228.** 25 т. **229.** 5 м/с^2. **230.** 2500 кг; 90 м. **231.** 0,5 м/с^2; 10 с. **232.** 0,6 м. **233.** 5 кг. **234.** Ні. **237.** 250 Н. **238.** 20 г. **243.** 1 км/с^2. **244.** 1,2 м/с^2. **246.** 0,6 Н. **247.** 123 кН. **249.** 3,5 м/с^2. **250.** 25 Н. **251.** 42,3 км/год. **252.** 6 кН; 50 с; 375 м. **257.** 10 кг · м/с. **258.** а) $3 \cdot 10^4$ кг · м/с; б) $6 \cdot 10^4$ кг · м/с. **259.** 0,9 м/с. **260.** 0,3 м/с. **261.** 5,5 м/с. **262.** 5 кг · м/с. **263.** 4,7 м/с. **265.** 0,2 кг · м/с; 2 Н. **266.** $2 \cdot 10^4$ кг · м/с; 1000 кг. **267.** 3,4 с. **268.** 4 кг. **269.** 30 м/с. **270.** 5 м/с. **271.** 400 м/с. **272.** 20 000 т. **273.** 0,5 м/с.

Відповіді до рубрики «Що я знаю і вмію робити»

Розділ 1

2. Електродвигун. **5.** Другий провід замінює рама велосипеда. **6.** Електромагніт. **11.** Потрібно використати магніт. **12.** Щоб корпус судна не впливав на роботу приладів для дослідження магнітного поля Землі.

Розділ 2

3. Розміри хлопця і його зображення однакові. **6.** Розкладається на 7 кольорів. **7.** Кольорову лінію. **8.** Забарвленими.

Розділ 3

1. За виглядом хвиль. **2.** Коли закріпити на ящику резонатора. **3.** Звук частково поглинається. **9.** 1435 м/с. **10.** 0,0068 м. **12.** $2 \cdot 10^9$ м.

Розділ 4

3. β-частинки. **5.** $7 \cdot 10^8$ років. **7.** Так. **10.** Сіль. **11.** Позитивний або негативний йон.

Розділ 5

1. 3,3 м/с^2. **7.** 1,3 м/с^2. **9.** 200 т. **10.** Комар – $7 \cdot 10^{-6}$ кг · м/с; електрон – $7{,}3 \cdot 10^{-23}$ кг · м/с; вовк – 666,4 кг · м/с; людина – 98 кг · м/с; кит – $1{,}7 \cdot 10^6$ кг · м/с; автомобіль – $6{,}5 \cdot 10^4$ кг · м/с; ракета – $7 \cdot 10^7$ кг · м/с; **11.** $6{,}841 \cdot 10^{10}$ Дж.

Відповіді до рубрики «Фізичні задачі навколо нас»

1. Для зручності роботи з дрібними деталями. **4.** Магнітне поле Землі. **6.** Південний. **9.** Стрілка буде відхилятися у протилежний бік. **13.** Морська. **22.** Настає «полярна сліпота». **26.** Краплини виступають у ролі лінз, які фокусують світлові промені. **29.** Подивитися на будь-які предмети. **36.** Однаково, але краще без окулярів. **37.** Ні. **47.** Ні. **54.** Цей колір – набір багатьох різних довжин хвиль. **57.** Веселкову смужку. **58.** Верх – фіолетовий, нижній – червоний. **59.** Чорним. **63.** Чорними. **87.** Медуза. Вона має «сигналізатор шторму» – орган, що сприймає інфразвуки, які утворюються хвилями. Учені сконструювали «вухо медузи». Цей прилад передбачає наближення шторму за 15 годин. **88.** Комара-товкунчика. Висота тону залежить від частоти коливання і пропорційна їй. **89.** Звук, що утворюється під час розламування сухаря, досягає вуха через повітря і сприймається як слабкий тріск, а під час відкушування – через кістки черепа, які є твердим і пружним середовищем, що добре проводить і під-

силює звук. Тому тріск сухаря, який відкушуєте, сприймається як дуже сильний звук. **91.** Унаслідок багаторазового відбивання звуку від дерев важко визначити напрямок (де знаходиться джерело звуку) до джерела звуку. **92.** Звук швидше поширюється у воді, ніж у повітрі, тому спочатку можна почути звук пострілу, що дійшов до людини водою, а потім звук, що дійшов повітрям. **93.** Пристроєм, який у багато разів підсилює звук, тобто виконує роль резонаторного ящика, є голосові мішки. **94.** Щоб не стати здобиччю кажана, який полює, використовуючи ультразвук: до кажана не дійде відлуння надісланих ним розвідувальних сигналів і він не виявить об'єкта полювання. **95.** Передчасне цвітіння «квітки землетрусу» викликають високочастотні ультразвукові коливання, які, як правило, передують землетрусу і виверженню вулкана: вони стимулюють обмін речовин у рослин і створюють кращі умови росту. **96.** Хвіст у бобра виконує чимало функцій. Однією з них є сигналізація про небезпеку (б'є хвостом по поверхні води, створюючи звуковий сигнал тривоги. **100.** І кінь, і віз додатково взаємодіють із Землею, але кінь ставить ноги під гострим кутом до поверхні переміщення. При цьому виникає складова сили реакції, що напрямлена в бік переміщення. **101.** Швидкості човна і людини протилежні за напрямком і різні за значенням. Швидкість руху човна менша за швидкість руху людини, оскільки його маса більша. **102.** Закон збереження кількості руху.

ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Акомодація 88
Активність 142
Акустика 102–103
Ампер Андре Марі 15
Араго Франсуа 19
Аткінсон Роберт 161
Атомні електростанції (АЕС) 155
Ахієзер Олександр Ілліч 165

Б

Беккерель Анрі 137
Беккерель 142
Белл 106
Белл Олександр Грейам 106
Бор Нільс 130

В

Вальтер Антон Карлович 164
Вейцзеккер Карл 161
Веселка 70
Взаємодія магнітів 8
Висота тону звуку 108
Вібратор Герца 114
Відбивання світла 58–59
Вільне падіння тіл 188
Вітрові електростанції (ВЕС) 38
Властивості електромагнітних хвиль 115–116
Вухо 102

Г

Гамов Георгій 161
Ган Отто 153
Гейгер Ганс 130
Гейзенберг Вернер Карл 134
Геліоелектростанції (ГеліоЕС) 38
Генератори індукційного струму 37
Герц Генріх 114
Геотермальні електростанції (геоТЕС) 38
Гідроелектростанції (ГЕС) 38
Гільберт Вільям 9
Гіпотеза Ампера 15–16
Головна оптична вісь 77
Головний фокус лінзи 77
Гоутерманс Фрідріх 161
Гравітаційна взаємодія 183
Гравітаційна стала 184
Гравітація 183
Графіки рівноприскореного руху 170–172
Грей 142
Гук Роберт 190
Гучність звуку 106

Д

Далекозорість 89
Децибел 106–107
Джерела світла 47
Дзеркало плоске 61
Дисперсія світла 70–71
Довжина хвилі 99, 115
Дозиметр 147
Домени 15–16
Дошка оголошень 120

Е

Еддінгтон Артур 160
Еквівалентна доза 143
Експозиційна доза 143
Електричний двигун (електродвигун) 26
Електровимірювальні прилади 28
Електромагніт 19–22
Електромагнітна індукція 34
Електромагнітне поле 114
Електронна пошта 120
Енергія зв'язку ядра 134
Ерстед Ганс Крістіан 11, 32

Ж

Жоліо-Кюрі Фредерік 155

З

Закон відбивання світла 59
– всесвітнього тяжіння 183
– заломлення світла 65
– збереження заряду 211
– збереження імпульсу 196, 210
– збереження маси 211
– збереження повної механічної енергії 207
– Ньютона другий 178–179

– Ньютона перший 177
– Ньютона третій 179
– радіоактивного розпаду 140
Заломлення світла 66
Замкнута система 196
Затемнення 53–54
Збиральна лінза 78
Зображення предмета 60–61

І

Іваненко Дмитро Дмитрович 134, 163
Ізотопи 135
Імпульс тіла 195–196
Індукція магнітного поля 14
Інерція 177
Інерціальні системи відліку 177–178
Індукційний струм 35
Інтернет 120
Інтернет-телефонія 121
Інфразвук 109

К

Камертон 106
Колектор 26
Колекторний електродвигун 26
Колір 72–74
Компас 9
Корона Сонця 54
Короткозорість 89
Курчатов Ігор Васильович 155
Кут відбивання 60
Кут падіння 60
Кюрі 142
Кюрі П'єр 138

Л

Ландау Лев Давидович 165
Ланцюгова ядерна реакція 154
Латишев Георгій Дмитрович 164
Лебедєв Олександр Олексійович 130
Лейпунський Олександр Ілліч 164
Ленард Філіп 130
Лінза 77
Лінії магнітного поля 8, 12
Лупа 84
Люмінесцентні джерела світла 47

М

Магнетизм 5
Магніт 5
Магнітна буря 10
Магнітна взаємодія 4
Магнітні лінії 8
Магнітне поле 9, 11
Магнітоелектрична система 28
Максвелл Джеймс Кларк 113
Мейтнер Ліза 153
Менделєєв Дмитро Іванович 130
Мікроскоп 85
Місячне затемнення 55–57
Мозлі Генрі 132
Музичний тон 106

Н

Нейтрон 134
Нукліди 134
Нуклони 134
Ньютон Ісаак 70

О

Око 87
Оптика 46
Оптична сила лінзи 78
Оптичний центр лінзи 77
Основні кольори 73

П

Перегрін П'єр 8
Період піврозпаду 140
Південний магнітний полюс Землі 10
Північний магнітний полюс Землі 10
Півтінь 51
Планетарна модель атома 132
Повне внутрішнє відбивання 67
Поглинута доза випромінювання 142
Поділ атомних ядер 153
Полоній 138
Полюс магніту 6, 7, 13
Померанчук Ісаак Якович 165
Поширення звуку 105
Правило зміщення 151
– лівої руки 24
– правої руки 35
– свердлика 12
Приймачі світла 48
Природний радіоактивний фон 144
Прискорення 171
– вільного падіння 185
Промінь відбитий 59
Промінь заломлений 66
Промінь світла 50

Промінь падаючий 59, 66
Протон 134
Протонно-нейтронна модель ядра атома 134, 164

Р

Радар 118
Радій 138
Радіоактивність 139
Радіопротектор 148
Радіохвилі 117
Реактивний рух 198
Резерфорд Ернест 130, 140
Ремер Оле 49
Рентген 143
Рентгенівське випромінювання 117
Рівноприскорений рух 170
Розенкевич Лев Вікторович 164
Розсіювальна лінза 78
Розсіяне світло 62
Ротор 26

С

Світловий пучок 50
Світловод 67
Світлофільтр 72
Сейсмограф 109
Сила Ампера 24
Склодовська-Кюрі Марія 138
Содді Фредерік 151
Сонометр 108
Сонячне затемнення 53–54
Спектр 71
Статор 26
Стерджен Вільям 19
Супутниковий зв'язок 118

Т

Телескоп 85
Температура (точка) Кюрі 16
Теплові джерела світла 47
Теплові електростанції (ТЕС) 38
Термоядерні реакції 159
Тінь 51
Томсон Джозеф 130
Тон 106
Точкове джерело світла 51

У

Ультразвук 109
Ультрафіолетові промені 117
Уявний головний фокус 78

Ф

Фази Місяця 52
Фарадей Майкл 33, 40–41
Фермі Енріко 153, 155
Феромагнетики 16
Фокус 77–78
Фокусна відстань лінзи 78
Фотоапарат 87
Фріш Отто 153

Х

Хвиля 98
– електромагнітна 113
– звукова 103
– поздовжня 99
– поперечна 99

Ч

Чедвік Джеймс 134

Ш

Швидкість поширення звуку 105
Швидкість поширення хвиль 115
Шкала електромагнітних хвиль 115
Штрасман Фріц 153
Шум 106

Ю

Юнг Томас 71

Я

Ядерна енергетика 155
Ядерні ланцюгові реакції 154
Ядерний реактор 155
Ядерні реакції 152–153
Ядерні сили 134
Якір 26
Якобі Борис 27

ЗМІСТ

Юні друзі! 3

Розділ 1. МАГНІТНІ ЯВИЩА

§ 1. Магнітні явища. Постійні магніти. Магнітне поле Землі 4
§ 2. Дослід Ерстеда. Індукція магнітного поля 11
§ 3. Магнітні властивості речовин. Гіпотеза Ампера 15
Задачі та вправи 17
§ 4. Магнітне поле провідника зі струмом. Електромагніти. Магнітна левітація . . 19
Лабораторна робота № 1. Складання та випробування електромагніту 23
§ 5. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера 24
§ 6. Електричні двигуни. Гучномовці. Електровимірювальні прилади 25
Задачі та вправи 29
§ 7. Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея. Індукційний електричний струм 32
Лабораторна робота № 2. Спостереження явища електромагнітної індукції 36
§ 8. Генератори індукційного струму. Промислові джерела електричної енергії 36
Задачі та вправи 39
Історична довідка 40
Перевірте свої знання 40
Тестові завдання 43

Розділ 2. СВІТЛОВІ ЯВИЩА

§ 9. Світлові явища. Джерела й приймачі світла. Швидкість поширення світла 45
§ 10. Світловий промінь і світловий пучок. Закон прямолінійного поширення світла. Сонячне та місячне затемнення 50
Задачі та вправи 56
§ 11. Відбивання світла. Закон відбивання світла. Плоске дзеркало 58
Задачі та вправи 62
Лабораторна робота № 3. Дослідження відбивання світла за допомогою плоского дзеркала 64
§ 12. Заломлення світла на межі поділу двох середовищ. Закон заломлення світла 65
Лабораторна робота № 4. Дослідження заломлення світла 67
Задачі та вправи 69
§ 13. Розкладання білого світла на кольори. Утворення кольорів 70
Задачі та вправи 74
§ 14. Лінзи. Оптична сила та фокусна відстань лінзи. Формула тонкої лінзи. Отримання зображень за допомогою лінзи 76
Лабораторна робота № 5. Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи 81
Задачі та вправи 82
§ 15. Найпростіші оптичні прилади 84
§ 16. Око як оптичний прилад. Зір і бачення. Вади зору та їх корекція 87
Задачі та вправи 90
Перевірте свої знання 91
Тестові завдання 95

Розділ 3. МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

§ 17. Виникнення і поширення механічних хвиль . . . 97
Задачі та вправи . . . 100
§ 18. Звукові хвилі. Швидкість поширення звуку, довжина і частота звукової хвилі. Гучність звуку та висота тону . . . 101
§ 19. Інфразвуки та ультразвуки . . . 109
Задачі та вправи . . . 111
§ 20. Електромагнітне поле і електромагнітні хвилі. Швидкість поширення, довжина і частота електромагнітної хвилі . . . 113
§ 21. Властивості електромагнітних хвиль. Шкала електромагнітних хвиль . . . 115
§ 22. Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій . . . 118
Лабораторна робота № 6. Дослідження звукових коливань різноманітних джерел звуку за допомогою сучасних цифрових засобів . . . 123
Задачі та вправи . . . 125
Перевірте свої знання . . . 125
Тестові завдання . . . 127

Розділ 4. ФІЗИКА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

§ 23. Сучасна модель атома. Досліди Резерфорда . . . 130
§ 24. Протонно-нейтронна модель ядра атома. Ядерні сили . . . 133
§ 25. Ізотопи. Використання ізотопів . . . 135
§ 26. Радіоактивність, її природа і властивості. Період напіврозпаду радіонукліда . . . 137
§ 27. Йонізаційна дія радіоактивного випромінювання. Природний радіоактивний фон . . . 141
§ 28. Дозиметри. Біологічна дія радіоактивного випромінювання . . . 147
§ 29. Поділ важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція поділу. Ядерна реакція . . . 151
§ 30. Атомні електростанції. Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики . . . 155
§ 31. Термоядерні реакції. Енергія Сонця і зір . . . 159
Задачі та вправи . . . 162
Історична довідка . . . 163
Перевірте свої знання . . . 165
Тестові завдання . . . 167

Розділ 5. РУХ І ВЗАЄМОДІЯ. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ

§ 32. Рівноприскорений рух. Прискорення. Графіки прямолінійного рівноприскореного руху . . . 170
Задачі та вправи . . . 174
§ 33. Інерціальні системи відліку. Закони Ньютона . . . 176
Задачі та вправи . . . 180
§ 34. Закон всесвітнього тяжіння. Прискорення вільного падіння. Рух тіла під дією сили тяжіння . . . 183
Історична довідка . . . 190
§ 35. Рух тіла під дією кількох сил . . . 191
§ 36. Взаємодія тіл. Імпульс. Закон збереження імпульсу . . . 195
§ 37. Реактивний рух. Фізичні основи ракетної техніки. Досягнення космонавтики . . . 198
Задачі та вправи . . . 201

Лабораторна робота № 7. Вивчення закону збереження механічної енергії 204
§ 38. Фундаментальні взаємодії у природі. Межі застосування фізичних законів і теорій 205
§ 39. Фундаментальний характер законів збереження у природі 208
§ 40. Прояви законів збереження в теплових, електромагнітних, ядерних явищах 212
§ 41. Еволюція фізичної картини світу. Розвиток уявлень про природу світла 212
§ 42. Вплив фізики на суспільний розвиток та науково-технічний прогрес 216
Перевірте свої знання 218
Тестові завдання 221

ФІЗИКА ТА ЕКОЛОГІЯ

§ 43. Фізика і проблеми безпеки життєдіяльності людини 223
§ 44. Фізичні основи бережливого природокористування та збереження енергії 224
§ 45. Альтернативні джерела енергії 227

Фізичні задачі навколо нас 231
Словник фізичних термінів 235
Відповіді до задач і вправ 240
Предметно-іменний покажчик 243

Навчальне видання

СИРОТЮК Володимир Дмитрович

ФІЗИКА

Підручник для 9 класу
загальноосвітніх навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Головний редактор *Наталія Заблоцька.* Редактор *Олена Мовчан.*
Обкладинка *Тетяни Кущ.* Художній редактор *Василь Марущинець.*
Технічний редактор *Цезарина Федосіхіна.* Комп'ютерна верстка *Юрія Лебедєва.*
Коректори *Інна Борік, Лариса Леуська*

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 20,088. Обл.-вид. арк. 19,11.
Тираж 40 710 пр. Вид. № 1884. Зам. №

Видавництво «Генеза», вул. Тимошенка, 2-л, м. Київ, 04212.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 5088 від 27.04.2016.

Віддруковано на ПРАТ «Харківська книжкова фабрика "Глобус"»,
вул. Різдвяна, 11, м. Харків, 61052.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 3985 від 22.02.2011.
www.globus-book.com

УКРАЇНА — КОСМІЧНА ДЕРЖАВА

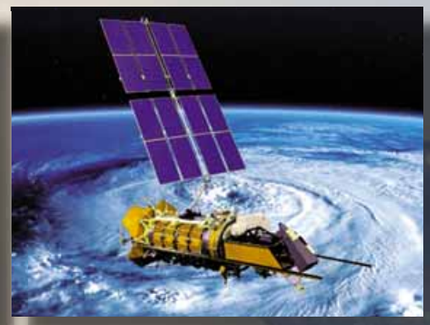
Українські підприємства мають величезний досвід створення космічних апаратів (КА) різного призначення: конструкторами та інженерами галузі за останні півстоліття розроблено понад 70 типів КА, виготовлено й запущено на орбіти понад 400 супутників.

Перший штучний супутник Землі **«Космос-1»**, розроблений українцями у м. Дніпро, було виведено на навколоземну орбіту 16 березня 1962 року.

У незалежній Україні 1995 року виведено на навколоземну орбіту супутник **«Січ-1»**, призначений для дистанційного зондування об'єктів природного середовища, здійснення наукових експериментів з дослідження йоносфери та магнітосфери.

Супутник «Космос-1»

Супутник «Січ-1»



Супутник «Океан-О»

Наступним вітчизняним космічним апаратом став супутник **«Океан-О»**, виведений на орбіту 1999 року. «Океан-О» призначений для оперативного отримання та передачі даних дистанційного зондування поверхні Землі й Світового океану, екологічного моніторингу, попередження й контролю надзвичайних ситуацій.

Для дистанційного зондування Землі українські вчені й конструктори розробили також уніфіковану платформу АУОС (автоматизована універсальна орбітальна станція) для космічних апаратів, орієнтованих на Сонце та призначених для геліофізичних, геофізичних та астрономічних досліджень. У 2001 році ракетою-носієм «Циклон-3» виведено на навколоземну орбіту КА **«АУОС-СМ-КФ»** («Коронас-Ф»), призначений для комплексних спостережень активності Сонця. У 2009 році – апарат для проведення комплексного наукового експерименту з дослідження Сонця **«АУОС-СМ-Ф»** («Коронас-Фотон»).

Мікросупутник «МС-1-ТК»

Супутник «Січ-2»

2004 року з космодрому Плесецьк запущено в космос супутник спостереження Землі **«Січ-1М»** та перший український мікросупутник **«МС-1-ТК»**.

Державне підприємство «Конструкторське бюро "Південне" ім. М. Янгеля» у співпраці з іншими українськими підприємствами розробило й перший єгипетський супутник дистанційного зондування Землі **«EgyptSat-1»**. Його було виведено на орбіту 2007 року українською ракетою-носієм «Дніпро-1».

2011 року було виведено на орбіту космічну систему оптико-електронного спостереження Землі високої розрізнювальної здатності **«Січ-2»**.

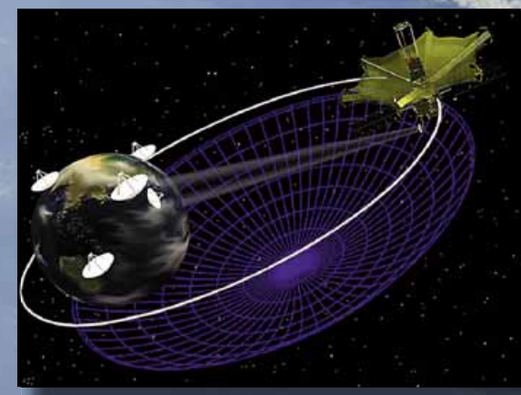
У планах Державного космічного агентства України – створення перспективних космічних апаратів **«Січ-2-1»**, **«Січ-2М»**, **«Січ-3-О»** та **«Січ-3-Р»**, дата готовності яких – 2017 та 2018 роки. У процесі розробки – науково-технічний штучний супутник **«Мікросат»**. Усього до 2022 року Україна планує запустити шість супутників.

Наземну космічну інфраструктуру в Україні складають **Спеціалізовані наземні центри**, які входять до Національного центру управління та випробувань космічних засобів, та **Наземна супутникова мережа трансляції телевізійних каналів**, яка експлуатується національним оператором супутникового зв'язку – Державним підприємством «Укркосмос».

Наукові космічні дослідження здійснюються в межах Національних космічних програм України та координуються Радою з космічних досліджень Національної академії наук України і Державним космічним агентством України.

Основними напрямками наукових космічних досліджень в Україні визначено: вивчення сонячно-земних зв'язків; астрономічні та астрофізичні дослідження; вивчення ролі мікрогравітації в біологічних і фізико-хімічних процесах; підготовку експериментів на борту орбітальних космічних комплексів.

У міжнародній програмі **«Радіоастрон»** передбачається використання українських радіотелескопів **РТ-70** та **РТ-32** для створення наземно-космічного інтерферометра з наддовгою базою.



Програма «Радіоастрон»

Україна також бере участь у створенні міжнародної орбітальної астрофізичної обсерваторії **«Спектр»** для спостережень за об'єктами Всесвіту в ультрафіолетовому діапазоні спектра.

За програмами міжнародних космічних проектів **«Коронас-І»**, **«Коронас-Ф»** та **«Коронас-Фотон»** українські вчені беруть активну участь у дослідженнях Сонця. Вивчаються великомасштабні коливання сонячної фотосфери з використанням створеного в Україні фотометра **«Діфос»**.

Україна є повноправним суб'єктом міжнародного космічного права. Наша держава є членом міжнародних організацій, які координують космічну діяльність, у тому числі: Комітету ООН з мирного використання космосу (COPUOS), Всесвітнього комітету з космічних досліджень (COSPAR), Міжагентського комітету з космічного сміття (IAOC), Всесвітньої організації з супутникових досліджень Землі (GEOS), Міжнародної астронавтичної федерації (IAF).

УКРАЇНА — КОСМІЧНА ДЕРЖАВА

За роки незалежності українські підприємства стали активно брати участь у міжнародних комерційних космічних проектах. Найзначнішими з них є: **«Морський старт», «Наземний старт», «Циклон-4», «Дніпро».**

ДКБ «Південне» та ВО «Південмаш» з компаніями «Боїнг» (США), «Квернер» (Норвегія) і «Енергія» (Росія) створили спільне підприємство **«Морський старт»** (Sea Launch) у 1995 році для реалізації унікального міжнародного проекту. З цією метою проведено модернізацію української ракети-носія **«Зеніт-2»** у триступеневу ракету-носій **«Зеніт-3SL».**

«Морський старт»

На сьогодні вже здійснено 33 успішних старти ракети-носія «Зеніт-3SL» з корисним навантаженням – телекомунікаційними супутниками масою до 6 тонн.

Наявний ринок космічних послуг з використанням РН «Зеніт-3SL» дозволив розпочати роботи з розширення можливостей використання ракети-носія «Зеніт» у межах проекту **«Наземний старт».**

Цей проект передбачає надання пускових послуг з космодрому Байконур з використанням ракет-носіїв **«Зеніт-2SLB»** та **«Зеніт-3SLB».** Обсяг виробництва на ВО «Південмаш» та можливості космічного ракетного комплексу **«Зеніт-М»** на космодромі Байконур потенційно дають змогу здійснювати до 5–6 пусків ракет-носіїв «Зеніт-2SLB» і «Зеніт-3SLB» на рік. Однак у 2015 році Росія відмовилася від використання українських ракет, у тому числі й «Зеніту».

Спільний українсько-бразильський проект **«Циклон-4»** передбачає розробку нового конкурентоспроможного, орієнтованого на довгострокове використання космічного ракетного комплексу і ракети-носія «Циклон-4», а також будівництво наземної інфраструктури на пусковому центрі «Алькантара» в Бразилії.

Ракета-носій «Зеніт-3SL»

Ракета-носій «Циклон-4»

Проект **«Дніпро»** передбачає створення на базі колишніх міжконтинентальних балістичних ракет РС-20 (SS-18 «Сатана»), розроблених і виготовлених в Україні, конверсійних ракет-носіїв «Дніпро».

Ракета-носій «Дніпро»

Модернізацію ракети-носія і технічне супроводження виконують українські підприємства космічної галузі – ДП «Конструкторське бюро “Південне” ім. М. Янгеля» і ДП «ВО “Південмаш” ім. О. Макарова». Основу програми «Дніпро» складають більше 150 ракет РС-20, придатних для переобладнання в ракети-носії.

Усього виконано шістнадцять пусків ракети-носія «Дніпро». Загалом ракетою «Дніпро» на навколоземні орбіти виведено 54 космічних апарати 14 країн світу.

Використання на РН «Дніпро» автономного космічного буксира (АКБ) різних конфігурацій дає змогу збільшувати масу корисного навантаження, яке виводиться на колову орбіту, здійснювати запуски невеликих супутників на високоеліптичні орбіти, доставляти корисні навантаження до Місяця та планет Сонячної системи.