

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**

$$F_{\text{ТЯЖ}} = G \frac{m \cdot M}{(R + h)^2}$$



Інтернет-  
підтримка

# ФІЗИКА

$$\vec{v} = \vec{v}_0$$

# 9

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

$$F_A = BIl \sin \alpha$$

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

КЛАС

$$D = \frac{1}{\dots} + \frac{1}{\dots} \quad m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v} + m_2 \vec{v}$$



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$s = \frac{c \cdot t}{2}$$

$$\vec{F} = \frac{\dots}{m}$$

## ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ УЧНІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЬ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ

### 1 — Загальні положення

- 1.1. У кабінеті фізики учні повинні суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку навчального закладу, установлених норм і режимів праці та відпочинку.
- 1.2. Учні можуть перебувати в кабінеті фізики тільки у присутності вчителя або лаборанта.
- 1.3. Про кожний нещасний випадок, що трапився під час проведення занять із фізики, слід терміново повідомити вчителя.
- 1.4. Про вихід з ладу або несправність обладнання слід негайно повідомити вчителя.

### 2 — Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

- 2.1. У разі травмування, нездужання тощо негайно повідомте про це вчителя.
- 2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо негайно повідомте про це вчителя.
- 2.3. У випадку евакуації чітко виконуйте розпорядження вчителя.

### 3 — Вимоги безпеки перед початком роботи

- 3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення досліду.
- 3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 3.3. Перевірте наявність і надійність з'єднувальних провідників, приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдання.
- 3.4. Починайте виконувати роботу тільки з дозволу вчителя.
- 3.5. Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем.

### 4 — Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.
- 4.2. Будьте уважні й дисципліновані, точно виконуйте вказівки вчителя.
- 4.3. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.
- 4.4. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
- 4.5. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтесь обертових частин машин і не нахиляйтеся над ними.
- 4.6. Для складання експериментальних установок користуйтеся провідниками з клемами та запобіжними чохлами з міцною ізоляцією та без видимих пошкоджень.

- 4.7. Без дозволу вчителя не вмикайте електричне обладнання; самостійно не усувайте несправності електромережі й електрообладнання.
- 4.8. Складаючи електричне коло, уникайте перетину провідників; заборонено користуватися провідниками зі спрацьованою ізоляцією та вимикачами відкритого типу.
- 4.9. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу. Складене коло вмикайте тільки після перевірки і з дозволу вчителя. Найявність напруги в колі можна перевіряти тільки спеціальними приладами або індикаторами напруги.
- 4.10. Не торкайтесь елементів кола, що не мають ізоляції й перебувають під напругою. Не виконуйте повторно з'єднання в колах і не замініюйте запобіжники до вимикання джерела електроживлення.
- 4.11. Користуйтеся інструментами із заізольованими ручками.
- 4.12. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя.
- 4.13. Виявивши несправність в електричному обладнанні, що перебуває під напругою, негайно повідомте про це вчителя.
- 4.14. Для приєднання споживачів до мережі користуйтеся штепсельними з'єднаннями.

## 5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 5.1. Після закінчення роботи обов'язково приберіть робоче місце. Прибирання виконуйте тільки з дозволу вчителя.
- 5.2. Електричне коло розбирайте тільки після вимкнення джерела електроживлення.

## ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

### Про фізичне явище

- 1) зовнішні ознаки явища, умови, за яких воно відбувається;
- 2) зв'язок даного явища з іншими;
- 3) фізичні величини, які характеризують явище;
- 4) можливості практичного використання, способи запобігання шкідливим наслідкам явища

### Про прилад або пристрій

- 1) призначення;
- 2) будова;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування і правила користування;
- 5) переваги і недоліки

### Про фізичний закон

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

### Про фізичну величину

- 1) символ для позначення;
- 2) властивість, яку характеризує дана фізична величина;
- 3) означення (дефініція);
- 4) формула, покладена в основу означення, зв'язок з іншими фізичними величинами;
- 5) одиниці;
- 6) способи вимірювання

# ФІЗИКА

# 9

КЛАС

Підручник для 9 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів

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

Харків  
Видавництво «Ранок»  
2017

УДК [37.016:53](075.3)

ББК 22.3я721

Ф 50

Ф 50 **Фізика** : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Х. : Вид-во «Ранок», 2017.

УДК [37.016:53](075.3)

ББК 22.3я721

**Інтернет-підтримка**  
Для користування  
електронними матеріалами  
до підручника увійдіть на сайт  
[interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)



**Служба технічної підтримки:**  
тел. (057) 719-48-65, (098) 037-54-68  
(понеділок–п'ятниця з 10:00 до 18:00)  
E-mail: [interactive@ranok.com.ua](mailto:interactive@ranok.com.ua)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,  
Кірюхіна О. О., 2017  
© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2017  
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2017

## Дорогі друзі!

Цього навчального року ви продовжите свою подорож світом фізики. Як і раніше, ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття.

Жодна справжня подорож не буває легкою, але ж скільки нового ви дізнаєтеся про світ навколо! А підручник, який ви тримаєте в руках, стане для вас надійним помічником.

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

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

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

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

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

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

Зверніть увагу, що в підручнику є матеріал, обмежений позначками (\*), — він призначений для тих, хто прагне знати більше.

Чимало цікавого на вас очікує на електронному освітньому ресурсі «Інтерактивне навчання» ([interactive.ranok.com.ua](http://interactive.ranok.com.ua)). Це відеоролики, що показують у дії той чи інший фізичний дослід або процес; інформація, яка допоможе вам у виконанні завдань; тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

Фізика — наука насамперед експериментальна, тому в підручнику наявні *експериментальні завдання та лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви будете краще розуміти й любити фізику. Радимо опрацьовувати *завдання «із зірочкою»*, завдяки яким ви навчитеся подавати результати експериментів так, як це роблять справжні вчені. Впоратися із цими завданнями вам допоможе матеріал, поданий у *Додатку*.

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

Працюючи над навчальними проектами, радимо уважно ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації, поданими в *Додатку*, в матеріалі «*Етапи роботи над навчальними проектами*».

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

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



Підбиваємо підсумки



Завдання на повторення



Контрольні запитання



Експериментальне завдання



Вправа



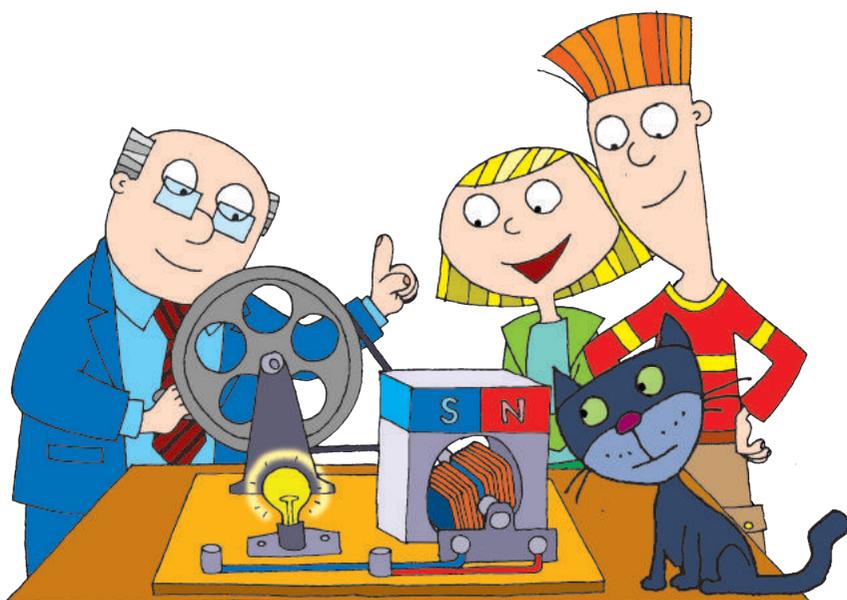
Інтернет-підтримка

*Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!*

# РОЗДІЛ I

## МАГНІТНЕ ПОЛЕ

- Ви знаєте, що не заблукаєте в лісі, якщо маєте компас, а тепер дізнаєтесь, чи допоможе компас зорієнтуватися на льоду арктичної пустелі
- Ви спостерігали, як магніт притягує залізні скріпки, а тепер зможете пояснити, чому він не притягує мідні монетки
- Ви вмієте вимірювати силу струму, а тепер дізнаєтесь про принцип дії амперметра
- Ви постійно користуєтесь електрикою, а тепер дізнаєтесь, як працює генератор електричної енергії



## § 1. ПОСТІЙНІ МАГНІТИ. МАГНІТНІ ЛІНІЇ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ

Ще в глибоку давнину було помічено здатність деяких залізних руд притягувати до себе залізні тіла. Давні греки називали шматки цих руд магнітними каменями, ймовірно, за назвою міста Магнесія, з якого привозили таку руду. Зараз їх називають природними магнітами. Існують також штучні магніти. Сьогодні ви ознайомитеся з деякими властивостями магнітів.

### 1 Вивчаємо властивості постійних магнітів

Ще в 5 класі, вивчаючи курс природознавства, ви дізналися про магнітні явища та виявили, що деякі тіла мають властивість притягувати до себе залізні предмети й самі притягуються до залізних тіл. Згадаємо, наприклад, картинки-магнітики, які ми чіпляємо на холодильник, — приклеєний до картинки магнітик зберігає магнітні властивості тривалий час.

Тіла, які тривалий час зберігають магнітні властивості, називають **постійними магнітами**.

*Магніти чинять помітну магнітну дію лише на тіла, які виготовлені з феромагнітних матеріалів\*, із цих матеріалів виготовляють і самі постійні магніти.*

Властивості постійних магнітів першим дослідив *Вільям Гільберт* (1544–1603) — англійський фізик і лікар, один із засновників науки про електрику. Наведемо основні із цих властивостей.

#### Основні властивості постійних магнітів

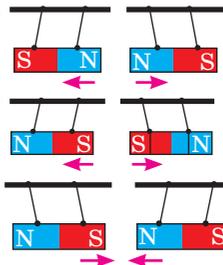
1. Магнітна дія магніту є різною на різних ділянках його поверхні; магнітна дія найсильніша біля *полюсів магніту*



2. Магніт має два полюси — *північний N* і *південний S\*\**. Неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом



3. Однойменні полюси магнітів відштовхуються, різнойменні — притягуються



4. У разі нагрівання постійного магніту до певної температури (її називають *точкою Кюрі*) його магнітні властивості зникають

Метал	Точка Кюрі, °C
Залізо	769
Кобальт	1130
Нікель	358

\* Детальніше про феромагнітні матеріали ви дізнаєтесь у § 3 підручника.

\*\* Від голл. *noord* — північ, *zuiden* (нім. *Süden*) — південь.

**?** Сталеву спицю намагнітили та розділили кусачками спочатку на дві, а потім на чотири частини (рис. 1.1). Запропонуйте спосіб, за допомогою якого можна визначити полюси намагніченої спиці, полюси її частин. Скільки полюсів матиме кожна частина спиці?

## 2 Дізнаємося про магнітне поле

У ході вивчення електричних явищ у 8 класі ви дізналися про те, що в просторі навколо зарядженого тіла існує **електричне поле**, яке діє з певною *електричною силою* на інші заряджені тіла. У результаті цієї дії одноіменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються.

Навколо намагніченого тіла існує **магнітне поле**. Це магнітне поле діє на інше намагнічене тіло з деякою *магнітною силою*, унаслідок чого намагнічені тіла відштовхуються однойменними полюсами та притягуються різнойменними.

## 3 Вводимо поняття магнітних ліній

Розташуємо кілька невеликих магнітних стрілок, що можуть вільно повертатися (рис. 1.2) навколо штабового магніту. У результаті дії магнітного поля магніту стрілки зорієнтуються певним чином (рис. 1.3).

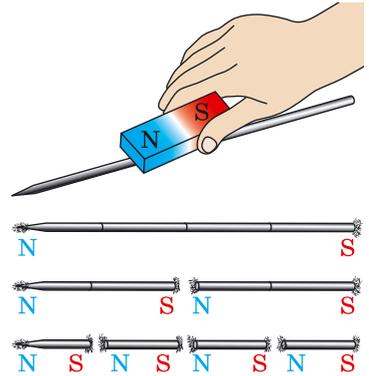
Умовні лінії, уздовж дотичних до яких у магнітному полі встановлюються осі магнітних стрілок, називають **магнітними лініями**, або **лініями магнітного поля**.

Магнітні лінії називають іще *лініями магнітної індукції*. Про це йтиметься в § 2.

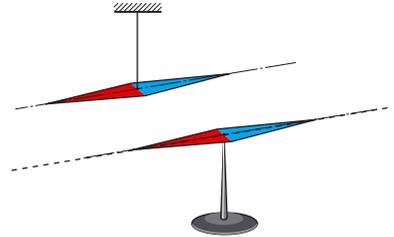
Саме за допомогою цих ліній графічно зображують магнітне поле.

*За напрямком ліній магнітного поля домовилися брати напрямком, на який указує північний полюс магнітної стрілки.*

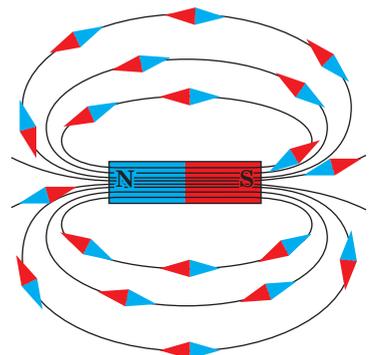
Щільність розташування ліній залежить від того, наскільки сильним є магнітне поле: *чим сильніше магнітне поле, тим щільніше розташовані магнітні лінії.*



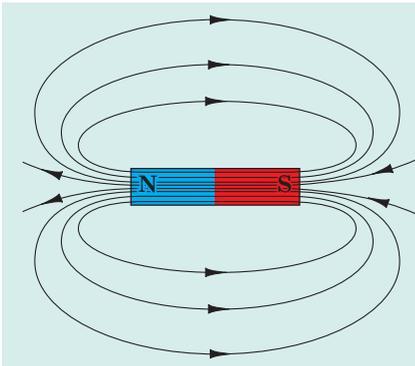
**Рис. 1.1.** Дослід, що демонструє одну з властивостей магнітів



**Рис. 1.2.** Магнітна стрілка — це постійний магніт. Пунктирною лінією показано вісь магнітної стрілки



**Рис. 1.3.** У магнітному полі постійного магніту магнітні стрілки орієнтуються вздовж магнітних ліній



#### Лінії магнітного поля магніту:

- поза магнітом виходять із північного полюса магніту і входять у південний;
- замкнені;
- найщільніше розташовані біля полюсів магніту

Рис. 1.4. Лінії магнітного поля штабового магніту

Розглянувши графічне зображення магнітного поля штабового магніту, можемо зробити деякі висновки (рис. 1.4). Зазначимо, що ці висновки справджуються для магнітних ліній будь-якого магніту.

**?** Який напрямок мають лінії магнітного поля магніту всередині магніту?

Картину магнітних ліній можна відтворити, скориставшись залізними ошурками. Візьмемо підковоподібний магніт, покладемо на нього пластинку з оргскла і через ситечко насипатимемо на пластинку залізнi ошурки. У магнітному полі кожний шматочок заліза намагнітиться й перетвориться на маленьку «магнітну стрілку». Імпровізовані «стрілки» зорієнтуються вздовж ліній магнітного поля магніту (рис. 1.5).

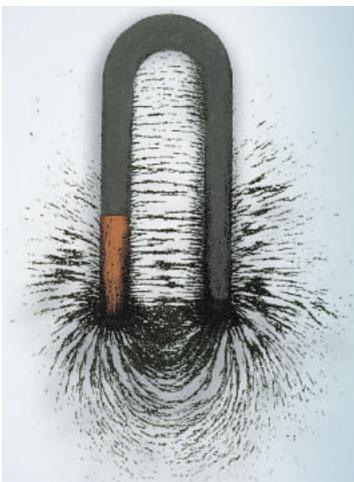


Рис. 1.5. Рисунок, утворений ланцюжками залізними ошурок, відтворює картину ліній магнітного поля підковоподібного магніту

**?** Накресліть у зошиті лінії магнітного поля підковоподібного магніту. Не забудьте вказати їх напрямок.

#### 4 Доводимо, що Земля має магнітне поле

З метою вивчення земного магнетизму Вільям Гільберт виготовив постійний магніт у вигляді кулі (модель Землі). Розташувачи на цій кулі компас, він помітив, що стрілка компаса поводитьсь точно так само, як на поверхні Землі.

Експерименти дозволили вченому припустити, що *Земля — це величезний магніт, а на півночі нашої планети розташований її південний магнітний полюс*. Подальші дослідження підтвердили гіпотезу В. Гільберта.

На рис. 1.6 зображено картину ліній магнітного поля Землі.

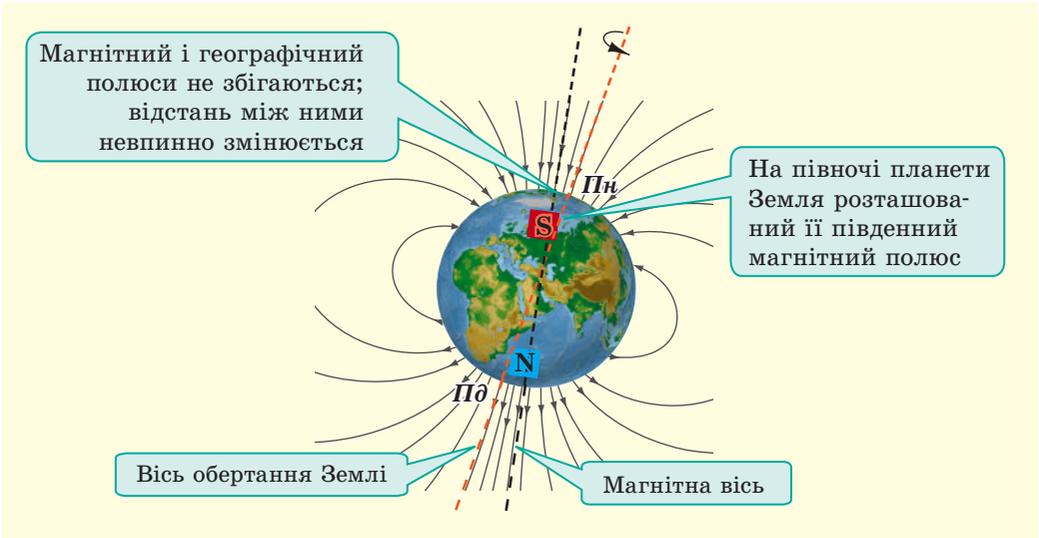


Рис. 1.6. Схема розташування ліній магнітного поля планети Земля

? Уявіть, що ви подорожуєте на Північний полюс, рухаючись точно в тому напрямку, на який показує стрілка компаса. Чи досягнете ви місця призначення?

Лінії магнітного поля Землі не є паралельними її поверхні. Якщо закріпити магнітну стрілку таким чином, щоб вона могла вільно обертатися як навколо горизонтальної, так і навколо вертикальної осей, то вона встановиться під певним кутом до поверхні Землі (див. рис. 1.7).

? Як, на вашу думку, буде розташована магнітна стрілка в пристрої, зображеному на рис. 1.7, біля північного магнітного полюса Землі? біля південного магнітного полюса Землі?

Магнітне поле Землі здавна допомагало орієнтуватися мандрівникам, морякам, військовим і не лише їм. Доведено, що риби, морські ссавці й птахи під час своїх міграцій орієнтуються за магнітним полем Землі. Так само орієнтуються, шукаючи шлях додому, і деякі тварини, наприклад коти.

### 5 Дізнаємося про магнітні бурі

Ретельні дослідження показали, що в будь-якій місцевості магнітне поле Землі періодично, щодоби, змінюється. Крім того, спостерігаються невеликі щорічні зміни магнітного поля Землі. Трапляються, однак, і різкі його зміни. Сильні збурення магнітного поля Землі, що охоплюють усю планету і тривають від одного до кількох днів, називають *магнітними бурями*. Здорові люди їх практично не відчують, а от у тих, хто має серцево-судинні

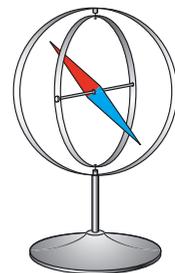
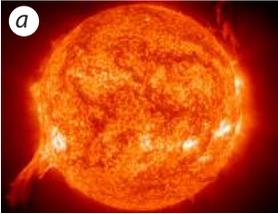


Рис. 1.7. До завдання в § 1



**Рис. 1.8.** Під час підвищення сонячної активності збільшується площа темних плям на Сонці (а), а на Землі відбуваються магнітні бурі та спостерігаються полярні сйва (б)

захворювання та захворювання нервової системи, магнітні бурі викликають погіршення самопочуття.

Магнітне поле Землі є своєрідним «щитом», який захищає нашу планету від заряджених частинок, що летять із космосу переважно від Сонця («сонячний вітер»). Поблизу магнітних полюсів потоки частинок підлітають досить близько до атмосфери Землі. Під час зростання сонячної активності космічні частинки потрапляють у верхні шари атмосфери та йонізують молекули газу — тоді на Землі спостерігаються полярні сйва (рис. 1.8).



### Підбиваємо підсумки

Тіла, які тривалий час зберігають свої магнітні властивості, називають постійними магнітами. Основні властивості магнітів:

- магнітна дія магніту найсильніше виявляється поблизу його полюсів;
- однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні — притягуються; неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом;
- у разі нагрівання постійного магніту до певної температури (точка Кюрі) його магнітні властивості зникають.

Навколо намагніченого тіла існує магнітне поле. Умовні лінії, уздовж дотичних до яких у магнітному полі встановлюються осі маленьких магнітних стрілок, називають лініями магнітного поля. За напрямком магнітних ліній беруть напрямком, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки. Лінії магнітного поля являють собою замкнені криві. Поза магнітом вони виходять із його північного полюса і входять у південний.

Планета Земля має магнітне поле. Поблизу північного географічного полюса Землі розташований її південний магнітний полюс, поблизу південного географічного полюса — північний магнітний.



### Контрольні запитання

1. Перелічіть основні властивості постійних магнітів.
2. Наведіть означення ліній магнітного поля.
3. Який напрямок узято за напрямком магнітних ліній? Від чого залежить густина їхнього розташування?
4. Доведіть, що Земля має магнітне поле.
5. Як розташовані магнітні полюси Землі відносно географічних?
6. Що таке магнітні бурі? Як вони впливають на самопочуття людини?



### Вправа № 1

1. Магнітну стрілку розташували біля штабового магніту (рис. 1). Який полюс магніту є південним, а який — північним?
2. Чому залізні ошурки, притягнувшись до полюсів магніту, стирчать у різні боки?

- Чому сталеві віконні ґрати можуть із часом намагнітитися?
- Під час експедицій на Північний полюс виникало багато труднощів у визначенні напрямку руху, бо поблизу полюса звичайні компаси майже не працювали. Як ви вважаєте, чому?
- Скористайтесь додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, яке значення має магнітне поле для життя на нашій планеті. Що сталося б, якби магнітне поле Землі раптом зникло?

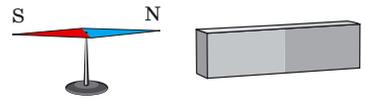


Рис. 1

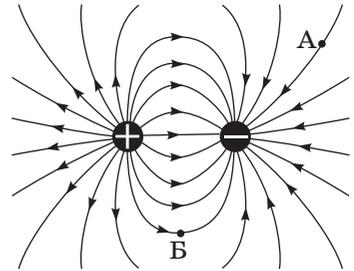


Рис. 2



- На рис. 2 зображено лінії електричного поля, створеного двома точковими зарядами. Визначте напрямок сили, з якою електричне поле діє а) на позитивний заряд, розташований у точці А; б) на негативний заряд, розташований у точці В?



### Експериментальні завдання

- Скориставшись двома-трьома постійними магнітами, наприклад паличками магнітного конструктора, перевірте деякі властивості постійних магнітів експериментально.
- Візьміть кілька голок із нитками. Складіть нитки в один пучок і повільно піднесіть знизу до голок постійний магніт (рис. 3). Поясніть спостережуване явище.

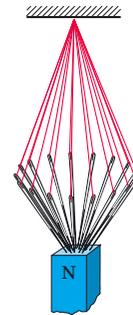


Рис. 3

## Фізика і техніка в Україні

**Інститут магнетизму НАН і МОН України** (Київ) — провідна наукова установа, що проводить дослідження в галузі магнетизму й магнітних матеріалів. Інститут є базовим у підготовці студентів фізико-математичного факультету НТУ «Київський політехнічний інститут», фізичного та радіофізичного факультетів КНУ ім. Тараса Шевченка.

Організатором і першим директором інституту в 1995 р. став видатний український фізик, академік, Герой України *Віктор Григорович Бар'яхтар*, відомий своїми фундаментальними роботами в галузі теоретичної фізики, фізики магнітних явищ, фізики твердого тіла, а також дослідженням екологічних наслідків Чорнобильської катастрофи. Із 2016 р. інститут очолює член-кореспондент НАПНУ *Юрій Іванович Горобець*. В. Г. Бар'яхтар є почесним директором інституту.

Розроблені в інституті матеріали для магнітних сенсорів та реєстраторів інформації, апаратури високих тисків і температур, вирощені й синтезовані в науковій установі монокристали широко використовуються в електроніці, медицині тощо. Інститут володіє унікальною технологією та обладнанням для наплення тонких наноплівки.

Науково-дослідницький комплекс скануючої растрової та електронної мікроскопії для наноструктурних досліджень Інституту магнетизму віднесено до наукових об'єктів, які становлять національне надбання.

## § 2. ДОСЛІД ЕРСТЕДА. МАГНІТНЕ ПОЛЕ. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Ще вчені Давньої Греції висловлювали припущення, що магнітні й електричні явища пов'язані між собою, проте встановити цей зв'язок змогли лише на початку XIX ст. Дізнаємось, хто першим помітив цей зв'язок, дамо означення магнітного поля та ознайомимося із фізичною величиною, що характеризує магнітне поле.



**Рис. 2.1.** Ганс Крістіан Ерстед (1777–1851), данський фізик і хімік. Відкрив і дослідив дію електричного струму на магнітну стрілку

### 1 Дізнаємось про дослід Ерстеда

15 лютого 1820 р. данський фізик *Г. Ерстед* (рис. 2.1) демонстрував студентам дослід із нагріванням провідника електричним струмом. У ході дослідів вчений помітив, що під час проходження струму магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, відхилялася від напрямку «північ — південь», встановлюючись перпендикулярно до провідника (рис. 2.2). Як тільки струм припинявся, стрілка знову поверталася в початкове положення, тобто встановлювалася вздовж ліній магнітного поля Землі. Так було з'ясовано, що електричний струм чинить певну магнітну дію.

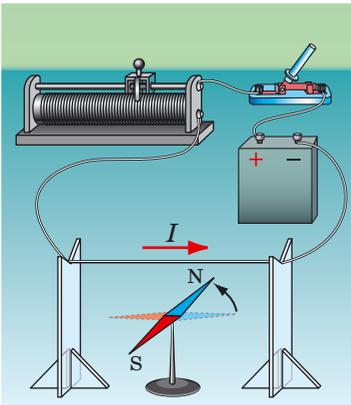
### 2 Даємо означення магнітного поля

Французький математик і фізик *Андре Марі Ампер* (1775–1836) уперше почув про досліді Г. Ерстеда 4 вересня 1820 р. і вже за тиждень продемонстрував взаємодію двох паралельно розташованих провідників зі струмом (рис. 2.3). Ампер також показав, що котушки, в яких проходить електричний струм, поведуться як постійні магніти (рис. 2.4).

Аналізуючи результати дослідів, учений дійшов висновку: провідники є електрично нейтральними, тому їхнє притягання або відштовхування не може пояснюватися дією електричних сил, — «поведінка» провідників є наслідком дії магнітних сил.

Ампер був прихильником *теорії дальної дії* та вважав, що магнітна взаємодія здійснюється миттєво крізь навколишній простір, причому простір не бере участі в її передачі.

Англійський фізик *Майкл Фарадей* (1791–1867) запропонував *теорію близької дії*, з точки зору якої магнітна взаємодія здійснюється з певною швидкістю *через магнітне поле*.



**Рис. 2.2.** Схема дослідів Г. Ерстеда

Відповідно до теорії близькоїдії М. Фарадея:

1) навколо намагніченого тіла та навколо будь-якого рухомого зарядженого тіла або рухомої зарядженої частинки існує магнітне поле;

2) магнітне поле діє на заряджені тіла та частинки, які рухаються в цьому полі;

3) магнітне поле завжди діє на намагнічені тіла (незалежно від того, рухаються ці тіла чи перебувають у стані спокою).

**Магнітне поле** — це форма матерії, яка існує навколо намагнічених тіл і рухомих заряджених тіл або частинок і яка діє на інші намагнічені тіла та рухомі заряджені тіла або частинки, розташовані в цьому полі.

**?** Згадайте означення електричного струму та поясніть: 1) чому магнітне поле існує навколо провідника, в якому проходить електричний струм; 2) чому магнітне поле діє на розташований у ньому провідник зі струмом.

### 3 Вивчаємо силову характеристику магнітного поля

Якщо заряджена частинка рухається в магнітному полі, то поле діє на частинку з деякою силою. Значення цієї сили залежить від заряду частинки, модуля та напрямку швидкості руху частинки, а також від того, наскільки сильним є поле.

**Індукція магнітного поля** — це векторна фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля.

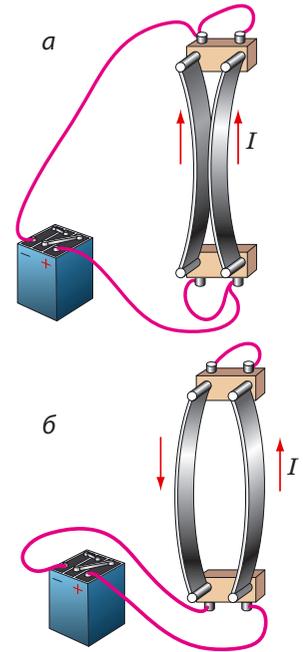
Магнітну індукцію позначають символом  $\vec{B}$ .

Одиниця магнітної індукції в СІ — **тесла\***; названа на честь сербського фізика *Ніколи Тесли* (1856–1943):

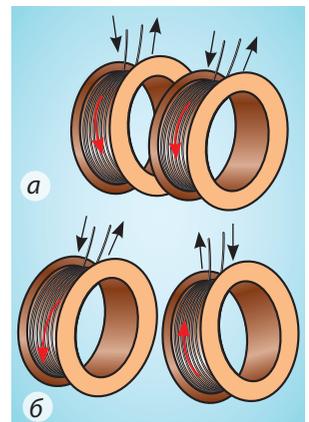
$$[B] = 1 \text{ Тл.}$$

За напрямком вектора магнітної індукції в даній точці магнітного поля обрано напрямок, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки, встановленої в цій точці (рис. 2.5). Тобто вектор

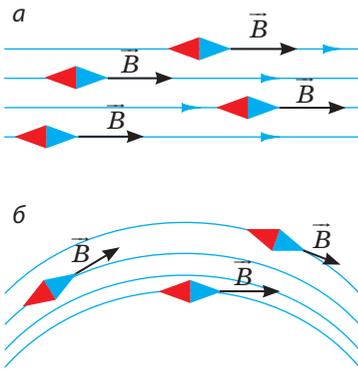
\* Як подати 1 Тл через інші одиниці СІ, за якою формулою можна визначити модуль магнітної індукції, як напрямлена сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, ви дізнаєтесь із матеріалу § 6.



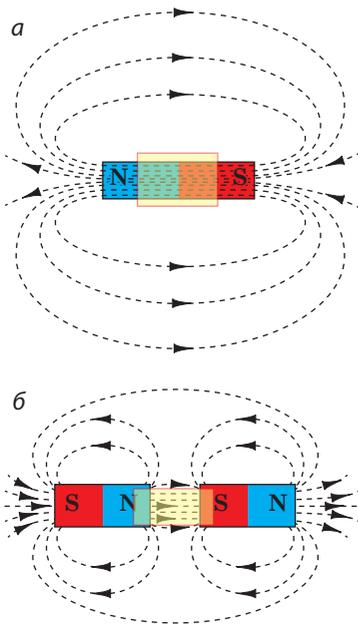
**Рис. 2.3.** Схема досліду А. Ампера. Якщо в двох паралельних провідниках течуть струми одного напрямку, провідники притягуються (а); якщо протилежних напрямків — провідники відштовхуються (б)



**Рис. 2.4.** Котушки зі струмом поводяться як постійні магніти: вони притягуються (а) або відштовхуються (б)



**Рис. 2.5.** Напрямок вектора магнітної індукції в деяких точках магнітного поля. Чим густіше розташовані лінії, тим більшим є модуль магнітної індукції



**Рис. 2.6.** Магнітне поле всередині штабового магніту (а) і між двома магнітами, зверненими один до одного різнойменними полюсами (б), можна вважати однорідним

магнітної індукції напрямлений уздовж дотичної до лінії магнітного поля і в напрямку цієї лінії. Саме тому магнітні лінії ще називають лініями магнітної індукції.

**Лінії магнітної індукції (магнітні лінії)** — це умовні лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з лінією, уздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції.

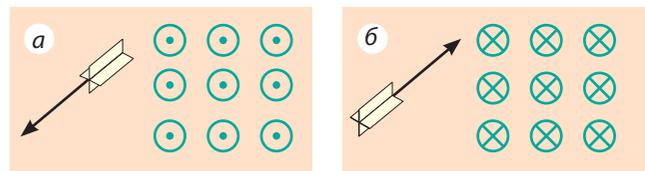
*Зверніть увагу!* Напрямок сили, з якою магнітне поле діє на рухомі заряджені частинки, або на провідник зі струмом, або на магнітну стрілку, *не збігається* з напрямком вектора магнітної індукції.

#### 4 Розглядаємо однорідне магнітне поле

Магнітне поле в певній частині простору називають **однорідним**, якщо в кожній його точці вектори магнітної індукції однакові як за модулем, так і за напрямком (див., наприклад, рис. 2.5, а).

Лінії магнітної індукції однорідного магнітного поля паралельні та розташовані на однаковій відстані одна від одної (рис. 2.6). У фізиці прийнято магнітні лінії однорідного магнітного поля, які напрямлені до нас, зображати точками (рис. 2.7, а) — ми ніби бачимо вістря «стріл», що летять до нас. Якщо магнітні лінії напрямлені від нас, то їх зображають хрестиками — ми ніби бачимо хвости «стріл» (рис. 2.7, б).

У більшості випадків ми маємо справу з неоднорідним магнітним полем, — полем, вектори магнітної індукції в різних точках якого мають різні значення та напрямки. Магнітні лінії такого поля викривлені, і їхня густота є різною.



**Рис. 2.7.** Зображення ліній магнітної індукції однорідного магнітного поля, які перпендикулярні до площини рисунка та напрямлені: до нас (а); від нас (б)



### Підбиваємо підсумки

Магнітна стрілка, розташована поблизу провідника зі струмом, відхиляється від напрямку «північ — південь», встановлюючись перпендикулярно до провідника. Це відбувається тому, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле.

Магнітне поле — це форма матерії, яка існує навколо намагнічених тіл і рухомих заряджених тіл або частинок і яка діє на інші намагнічені тіла та рухомі заряджені тіла або частинки.

Електричний струм — це напрямлений рух заряджених частинок, тому навколо провідника зі струмом існує магнітне поле.

Магнітна індукція — це векторна фізична величина, яка характеризує силу дію магнітного поля. Вектор магнітної індукції напрямлений по дотичній до магнітної лінії поля в напрямку цієї лінії. Магнітну індукцію позначають символом  $\vec{B}$ . Одиниця магнітної індукції в СІ — тесла (Тл).



### Контрольні запитання

1. Опишіть дослід Г. Ерстеда. У чому суть його відкриття?
2. Опишіть досліди А. Ампера. Що вони доводять?
3. Дайте означення магнітного поля.
4. Дайте означення магнітної індукції.
5. Як напрямлений вектор магнітної індукції?
6. Чому магнітні лінії ще називають лініями магнітної індукції?
7. Якою є одиниця магнітної індукції в СІ? На честь кого її названо?
8. Яке магнітне поле називають однорідним? Наведіть приклади.



### Вправа № 2

1. На рис. 1 зображено лінії магнітної індукції на певній ділянці магнітного поля. Для кожного випадку визначте:
  - 1) яке це поле — однорідне чи неоднорідне;
  - 2) напрямок вектора магнітної індукції в точках  $A$  і  $B$  цього поля;
  - 3) у якій точці —  $A$  чи  $B$  — магнітна індукція поля є більшою.
2. На рис. 2 зображено лінії магнітного поля, яке створене двома постійними магнітами, зверненими один до одного однойменними полюсами.
  - 1) Чи існує магнітне поле в точці  $A$ ?
  - 2) Який напрямок має вектор магнітної індукції в точці  $B$ ? в точці  $C$ ?
  - 3) У якій точці —  $A$ ,  $B$  чи  $C$  — магнітна індукція поля є найбільшою?
  - 4) У якій точці —  $B$  чи  $D$  — магнітне поле буде діяти на ту саму магнітну стрілку з більшою силою?

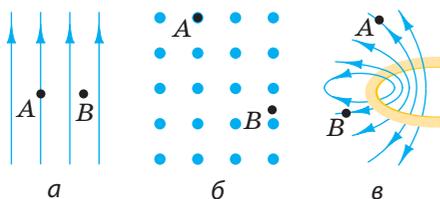


Рис. 1

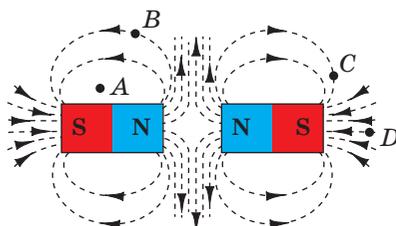


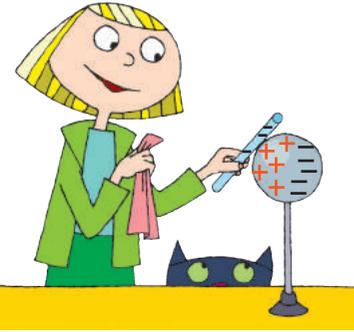
Рис. 2

3. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про історію відкриття Г. Ерстеда. Які дослідження він провів, вивчаючи магнітне поле провідника зі струмом? Які результати одержав?
4. Поясніть, чому будь-яке незаряджене тіло завжди притягується до тіла, яке має електричний заряд.

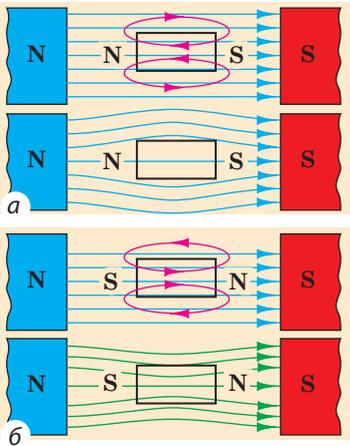


## § 3. МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН. ГІПОТЕЗА АМПЕРА

Мабуть, кожен з вас бачив магніти й навіть досліджував їхні властивості. Згадайте: ви підносите магніт до купки дрібних предметів і бачите, що деякі предмети (цвяшки, кнопки, скріпки) чіпляються до магніту, а деякі (шматочки крейди, мідні та алюмінієві монетки, грудочки землі) не реагують на нього. Чому так? Чи дійсно магнітне поле не чинить жодного впливу на деякі речовини? Саме про це йтиметься в параграфі.



**Рис. 3.1.** Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина сфери набуває позитивного заряду



**Рис. 3.2.** Зразки з діамагнетика (а) і парамагнетика (б) у зовнішньому магнітному полі: червоні лінії — лінії магнітного поля, створеного зразком; сині лінії — магнітні лінії зовнішнього поля; зелені лінії — лінії результуючого магнітного поля

### 1 Порівнюємо дії електричного і магнітного полів на речовину

Вивчаючи у 8 класі електричні явища, ви дізналися, що внаслідок впливу електричного поля відбувається перерозподіл електричних зарядів усередині незарядженого тіла (рис. 3.1). У результаті цього в тілі утворюється власне електричне поле, напрямлене протилежно зовнішньому. Саме тому електричне поле в речовині завжди слабше, ніж у вакуумі.

Речовина чинить вплив і на магнітне поле. Існують речовини, які (як у випадку з електричним полем) послаблюють магнітне поле всередині себе. Такі речовини називають *діамагнетиками*. Багато речовин, навпаки, посилюють магнітне поле — це *парамагнетики* та *феромагнетики*.

Річ у тім, що *будь-яка речовина, поміщена в магнітне поле, намагнічується*, тобто створює власне магнітне поле. Модуль і напрям вектора індукції власного магнітного поля є різними для різних речовин.

### 2 Дізнаємося про слабомагнітні речовини

Речовини, які створюють слабе магнітне поле, індукція якого набагато менша за індукцію зовнішнього магнітного поля (поля, яке спричинило намагнічування), називають *слабомагнітними речовинами*. До таких речовин належать діамагнетики та парамагнетики.

**Діамагнетики** (від грецьк. *dia* — розбіжність) створюють *слабе магнітне поле*, яке всередині діамагнетика *напрявлене протилежно до зовнішнього* (рис. 3.2, а). Саме тому діамагнетики *незначно послаблюють зовнішнє магнітне поле*: магнітна індукція магнітного поля всередині діамагнетика ( $B_D$ ) трохи менша

від магнітної індукції зовнішнього магнітного поля ( $B_0$ ):

$$B_d \leq B_0$$

Якщо діамагнетик помістити в магнітне поле, він буде виштовхуватися з поля (рис. 3.3).

**?** Розгляньте рис. 3.2, а і поясніть, чому діамагнітна речовина виштовхується з магнітного поля.

До діамагнетиків належать інертні гази (гелій, неон тощо), багато металів (наприклад, золото, мідь, ртуть, срібло), молекулярний азот, вода та ін. Тіло людини є діамагнетиком, адже воно на 60 % складається з води.

**Парамагнетики** (від грецьк. *para* — поряд) створюють *слабке магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього магнітного поля* (рис. 3.2, б). Парамагнетики незначно посилюють зовнішнє поле: магнітна індукція магнітного поля всередині парамагнетика ( $B_{\text{п}}$ ) трохи більша за магнітну індукцію зовнішнього магнітного поля ( $B_0$ ):

$$B_{\text{п}} \geq B_0$$

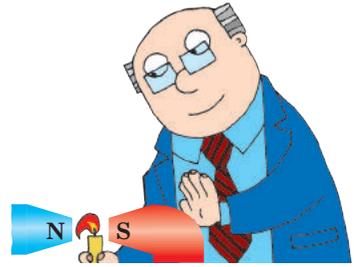
До парамагнетиків належать кисень, платина, алюміній, лужні та лужноземельні метали тощо. Якщо парамагнітну речовину помістити в магнітне поле, то вона буде втягуватися в поле.

### 3 Вивчаємо феромагнетики

Якщо слабوماгнітні речовини вийняти з магнітного поля, то їхня намагніченість відразу зникне, на відміну від *сильномагнітних речовин* — *феромагнетиків*.

**Феромагнетики** (від лат. *ferrum* — залізо) — речовини або матеріали, які залишаються намагніченими й у разі відсутності зовнішнього магнітного поля.

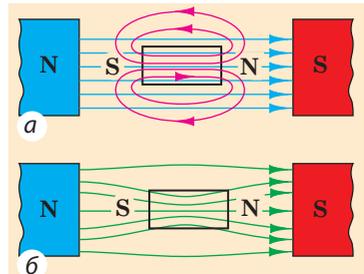
Феромагнетики створюють *сильне магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього магнітного поля* (рис. 3.4, 3.5, а). Якщо виготовлене з феромагнетика тіло помістити в магнітне поле, то воно буде втягуватися в це поле (рис. 3.5, б).



**Рис. 3.3.** Полум'я свічки виштовхується з магнітного поля, оскільки продукти згоряння є діамагнітними частинками



**Рис. 3.4.** Залізний цвях намагнічується в магнітному полі так, що кінець цвяха, розташований біля північного полюса магніту, стає південним полюсом, тому цвях притягується до магніту



**Рис. 3.5.** Феромагнетики створюють сильне магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього магнітного поля (а); лінії магнітної індукції ніби втягуються у феромагнітний зразок (б)



Рис. 3.6. До завдання в § 3

**?** Поясніть, чому на постійному магніті міцно утримуються тільки предмети, виготовлені з ферромагнітних матеріалів (рис. 3.6)?

До ферромагнетиків належить невелика група речовин: залізо, нікель, кобальт, рідкоземельні речовини та низка сплавів. Ферромагнетики значно посилюють зовнішнє магнітне поле: магнітна індукція магнітного поля всередині ферромагнетиків ( $B_{\phi}$ ) у сотні й тисячі разів більша за магнітну індукцію зовнішнього магнітного поля ( $B_0$ ):

$$B_{\phi} \gg B_0$$

*Температура Кюрі для деяких ферромагнетиків*

Речовина	Температура, °C
Гадоліній	+16
Залізо	+769
Кобальт	+1130
Магнетит $Fe_3O_4$	+572
Нікель	+358

Так, кобальт посилює магнітне поле в 175 разів, нікель — у 1120 разів, а трансформаторна сталь (вона на 96–98 % складається із заліза) посилює магнітне поле у 8000 разів.

Ферромагнітні матеріали умовно поділяють на два типи. Матеріали, які після припинення дії зовнішнього магнітного поля залишаються намагніченими довгий час, називають *жорсткомагнітними матеріалами*. Їх застосовують для виготовлення постійних магнітів. Ферромагнітні матеріали, які легко намагнічуються і швидко

розмагнічуються, називають *м'якомагнітними матеріалами*. Їх застосовують для виготовлення осердь електромагнітів, двигунів, трансформаторів, тобто пристроїв, які під час роботи постійно перемагнічуються. Про будову та принцип дії таких пристроїв ви дізнаєтесь пізніше.

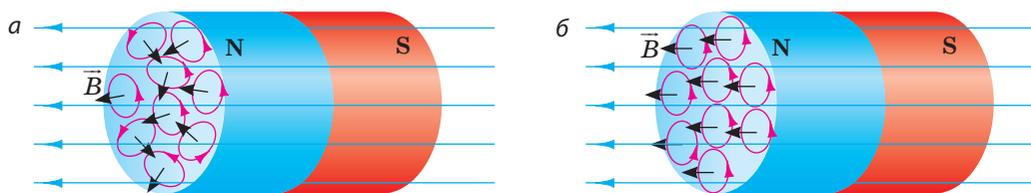
*Зверніть увагу!* У разі досягнення *температури Кюрі* (див. [таблицю](#)) ферромагнітні властивості м'якомагнітних і жорсткомагнітних матеріалів зникають — *матеріал стає парамагнетиком*.

#### **4** Знайомимося з гіпотезою Ампера

Спостерігаючи дію на магнітну стрілку провідника зі струмом (див. [рис. 2.2](#)) і з'ясувавши, що котушки зі струмом поведуться як постійні магніти (див. [рис. 2.4](#)), А. Ампер висунув гіпотезу щодо пояснення магнітних властивостей речовин.

Ампер припустив, що всередині речовини існує величезна кількість незгасаючих малих колових струмів. Кожний коловий струм, ніби маленька котушка, є магнітиком. Постійний магніт складається з безлічі таких елементарних магнітиків, орієнтованих у певному напрямку.

Механізм намагнічування речовин Ампер пояснював так. У тілі, яке не є намагніченим, колові струми орієнтовані безладно ([рис. 3.7, а](#)). Зовнішнє магнітне поле намагається зорієнтувати ці струми так, щоб напрямком магнітного поля кожного струму збігався з напрямком зовнішнього магнітного



**Рис. 3.7.** Механізм намагнічування тіл відповідно до гіпотези Ампера: *а* — колові струми орієнтовані безладно, тіло не є намагніченим; *б* — колові струми орієнтовані в певному напрямку, тіло намагнічене

поля (рис. 3.7, б). У деяких речовин така орієнтація струмів (тобто намагнічування) залишається й після того, як зовнішнє магнітне поле буде усунено. Таким чином, усі магнітні явища Ампер пояснював взаємодією рухомих заряджених частинок.

Гіпотеза Ампера стала поштовхом до створення теорії магнетизму. На підставі цієї гіпотези були пояснені відомі властивості феромагнетиків. Проте, спираючись на гіпотезу Ампера, неможливо було пояснити природу діа- та парамагнетизму, а також те, чому тільки невелика кількість речовин має феромагнітні властивості. Сучасна теорія магнетизму ґрунтується на законах квантової механіки і теорії відносності А. Ейнштейна.



### Підбиваємо підсумки

Будь-яка речовина, поміщена в магнітне поле, намагнічується, тобто створює власне магнітне поле.

Речовини, які створюють слабе магнітне поле, напрямлене протилежно зовнішньому, називають діамагнетиками. Діамагнетиками незначно послаблюють зовнішнє магнітне поле та виштовхуються з нього.

Речовини, які створюють слабе магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього, називають парамагнетиками. Парамагнетиками незначно посилюють зовнішнє магнітне поле та втягуються в нього.

Речовини, які створюють сильне магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього, та залишаються намагніченими й у разі відсутності зовнішнього магнітного поля, називають феромагнетиками. Феромагнетиками посилюють зовнішнє магнітне поле в сотні й тисячі разів і втягуються в нього.

Засновник теорії магнетизму А. Ампер вважав, що всі магнітні явища можна пояснити, припустивши існування всередині речовини незгасаючих малих колових електричних струмів. Це припущення назвали гіпотезою Ампера. Сучасна теорія магнетизму ґрунтується на законах квантової механіки.



### Контрольні запитання

1. Доведіть, що речовина чинить вплив на магнітне поле.
2. Наведіть приклади діамагнетиків; парамагнетиків; феромагнетиків.
3. Як напрямлене власне магнітне поле діамагнетика? парамагнетика? феромагнетика?
4. Як у зовнішньому магнітному полі поводитьсь тіло, виготовлене з діамагнетика? парамагнетика? феромагнетика?
5. Чому феромагнітні матеріали вважають сильномагнітними?
6. Де застосовують м'якомагнітні матеріали? жорсткомагнітні матеріали?
7. Як А. Ампер пояснював намагніченість речовин?



### Вправа № 3

- Є два види сталі — м'якомагнітна та жорсткомагнітна. Яка сталь є більш придатною для виготовлення постійних магнітів?
- Які магнітні властивості матиме залізо за 900 °С?
- Мідний циліндр підвесили на пружині та помістили в сильне магнітне поле (рис. 1). Як при цьому змінилося видовження пружини?

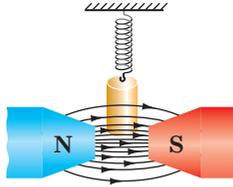


Рис. 1

- Чому на постійному магніті можна отримати ланцюжок залізних предметів (рис. 2)?
- У посудині під великим тиском міститься суміш газів (азоту і кисню). Запропонуйте спосіб розділення цієї суміші на окремі компоненти.
- Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся, що таке магнітна левітація. Якими є перспективи її застосування?



Рис. 2



### Експериментальне завдання

Використавши досить сильний магніт, дослідіть його взаємодію з тілами, виготовленими з різних матеріалів (наприклад, міді, алюмінію, заліза).

## Фізика і техніка в Україні

Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України» (Харків) була заснована у 1970 р. видатним електротехніком, академіком Андроником Гевондовичем Іосіф'яном як Харківське відділення Всесоюзного науково-дослідного інституту електромеханіки.

Тематика наукових досліджень інституту охоплює широке коло наукових проблем магнетизму технічних об'єктів. Це, зокрема, такі прикладні задачі, як визначення магнітних параметрів орбітальних космічних апаратів та магнітне управління їх орієнтацією, «магнітна чистота» ракетно-космічної техніки, «магнітний захист» автономних об'єктів, магнітна екологія житлових та промислових приміщень і захист навколишнього середовища, магнітодіагностика технічного стану об'єктів, виключення негативного впливу магнетизму на технологічні процеси та живі організми.

Розробки інституту впроваджено в судно- та машинобудуванні, ракетно-космічній галузі, паливно-енергетичному комплексі, установах охорони здоров'я.

Із 1988 р. керівником установи є відомий вчений у галузі електротехніки, член-кореспондент НАН України Володимир Юрійович Розов.

## § 4. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПРОВІДНИКА ЗІ СТРУМОМ. ПРАВИЛО СВЕРДЛИКА

Ви вже дізналися, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле. Дослідимо це поле за допомогою залізних ошурок. Для цього провідник пропустимо перпендикулярно до аркуша картону, насиплемо на картон ошурки та замкнемо коло. У магнітному полі провідника ошурки намагнітяться й розташуються вздовж магнітних ліній (рис. 4.1). Таким чином ошурки відтворять картину ліній індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом — концентричні кола, що охоплюють провідник. А як визначити напрямок магнітних ліній?

### 1 Знайомимося з правилом свердлика

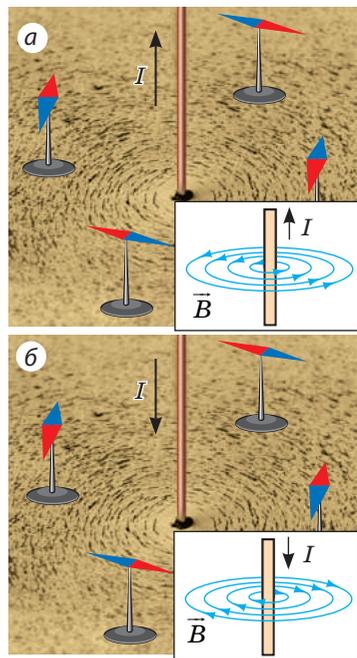
Напрямок ліній індукції магнітного поля провідника зі струмом можна визначити за допомогою магнітних стрілок. Розташуємо поряд із провідником декілька магнітних стрілок і пустимо в провіднику струм — стрілки розташуються перпендикулярно до провідника та зорієнтуються (рис. 4.1, а). Північний полюс кожної стрілки вкаже напрямок вектора індукції магнітного поля в даній точці, а отже, і напрямок магнітних ліній цього поля.

Зі зміною напрямку струму в провіднику зміниться й орієнтація магнітних стрілок (рис. 4.1, б). Це означає, що *напрямок магнітних ліній залежить від напрямку струму в провіднику*.

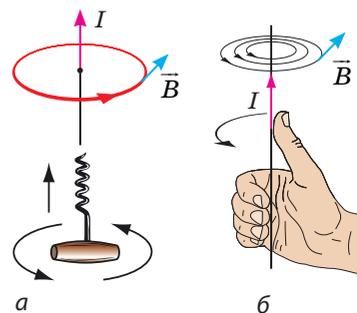
Зрозуміло, що визначати напрямок ліній магнітної індукції за допомогою магнітної стрілки не завжди зручно, тому використовують *правило свердлика* або *правило правої руки*.

**Правило свердлика:** якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямком обертання ручки свердлика вкаже напрямок ліній магнітного поля струму (рис. 4.2, а).

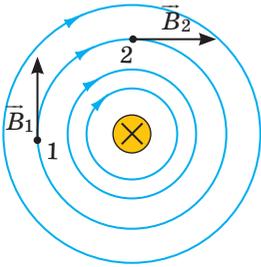
**Правило правої руки:** якщо спрямувати великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній магнітного поля струму (рис. 4.2, б).



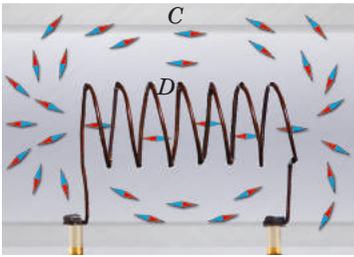
**Рис. 4.1.** Визначення напрямку ліній індукції магнітного поля провідника зі струмом за допомогою магнітних стрілок: а — струм напрямлений угору; б — струм напрямлений униз



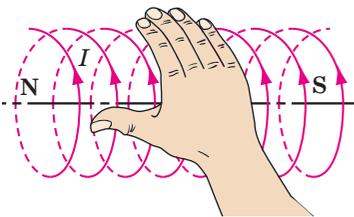
**Рис. 4.2.** Визначення напрямку ліній магнітного поля провідника зі струмом за допомогою правила свердлика (а) і правила правої руки (б)



**Рис. 4.3.** Лінії індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом. Хрестик (×) означає, що провідник розташований перпендикулярно площині рисунка, а сила струму в провіднику напрямлена від нас



**Рис. 4.4.** Дослідження магнітного поля котушки зі струмом за допомогою магнітних стрілок



**Рис. 4.5.** Визначення полюсів котушки за допомогою правої руки

**?** Переконайтеся в справедливості правила свердлика та правила правої руки для випадку, поданого на [рис. 4.1, б](#).

## **2** З'ясуємо, від чого залежить модуль індукції магнітного поля провідника зі струмом

Згадайте: першим, хто виявив магнітну дію провідника зі струмом, був Г. Ерстед. А от чому цього відкриття не було зроблено раніше? Адже сучасники Ерстеда згадували, що він завжди мав при собі магнітну стрілку, а дослід із нагріванням провідника здійснював неодноразово. Річ у тім, що *зі збільшенням відстані від провідника індукція створеного ним магнітного поля значно зменшується*. Отже, якщо магнітна стрілка розташована не поблизу провідника зі струмом, то його магнітна дія є майже непомітною.

Індукція магнітного поля залежить також від сили струму: *зі збільшенням сили струму в провіднику індукція створеного ним магнітного поля збільшується*.

**?** Розгляньте [рис. 4.3](#). Чому зі збільшенням відстані від провідника щільність розташування ліній магнітної індукції зменшується? Чи однаковими є модулі векторів  $\vec{B}_1$  і  $\vec{B}_2$ ?

## **3** Вивчаємо магнітне поле котушки зі струмом

Змотаємо ізолюваний дріт у котушку й пустимо в нього струм. Якщо тепер навколо котушки розмістити магнітні стрілки, то до одного торця котушки стрілки повернуться північним полюсом, а до другого — південним ([рис. 4.4](#)). Отже, навколо котушки зі струмом існує магнітне поле.

Як і штабовий магніт, котушка зі струмом має два полюси — південний і північний. Полюси котушки розташовані на її торцях, і їх легко визначити за допомогою правої руки:

Якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрямок на північний полюс котушки ([рис. 4.5](#)).

Зрозуміло, що зі зміною напрямку струму в котушці її полюси також зміняться.

Зіставивши лінії магнітних полів котушки зі струмом і постійного штабового магніту, неважко помітити їхню надзвичайну схожість (рис. 4.6). Зазначимо, що котушка зі струмом орієнтується в магнітному полі Землі саме так, як штабовий магніт.



### Підбиваємо підсумки

Навколо провідника зі струмом і навколо котушки зі струмом існує магнітне поле. Зі збільшенням відстані від провідника магнітна індукція створеного ним поля зменшується; зі збільшенням сили струму в провіднику магнітна індукція створеного ним поля збільшується.

Напрямок ліній індукції магнітного поля провідника зі струмом можна визначити за допомогою правила свердлика: якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямком обертання ручки свердлика вкаже напрямок ліній магнітного поля струму. Напрямок магнітних ліній можна також визначити за допомогою правила правої руки: якщо спрямувати великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямком ліній магнітного поля струму.

Котушка зі струмом, як і постійний магніт, має два полюси. Їх можна визначити за допомогою правої руки: якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрямком на її північний полюс.

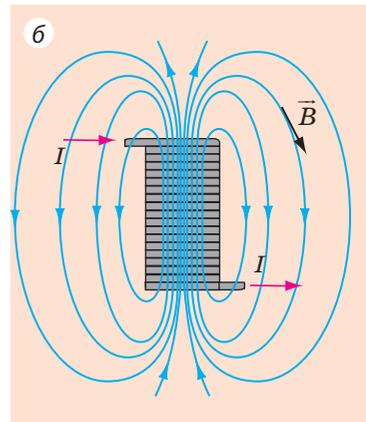
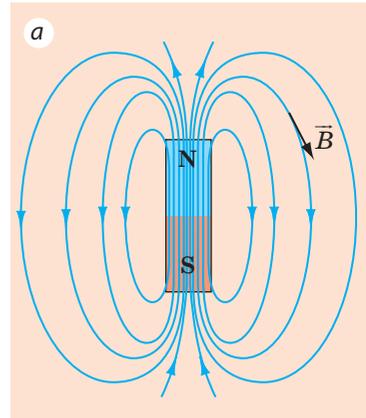


Рис. 4.6. Лінії індукції магнітного поля штабового магніту (а) і котушки зі струмом (б)



### Контрольні запитання

1. Як визначити напрямок ліній магнітного поля провідника зі струмом?
2. Сформулюйте правило свердлика.
3. Сформулюйте правило правої руки.
4. Як індукція магнітного поля провідника зі струмом залежить від відстані до провідника? від сили струму в провіднику?
5. Який вигляд мають лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом? котушки зі струмом?
6. Як визначити магнітні полюси котушки зі струмом?



### Вправа № 4

- На рис. 1 зображено лінію магнітного поля провідника зі струмом. Яким є напрямок струму?
- Перенесіть рис. 2 до зошита. Зобразіть лінії магнітного поля котушки зі струмом. Укажіть напрямок цих ліній.
- На рис. 3 зображено лінії магнітних полів двох провідників зі струмом.
  - як напрямлене магнітне поле провідника, зображеного на рис. 3, а?
  - яким є напрямок струму в провіднику, зображеному на рис. 3, б?
  - у якій точці — *A* чи *B* (рис. 3, а) — магнітне поле є сильнішим?
  - чи однаковими є модулі магнітної індукції в точках *C* і *D* (рис. 3, б)?

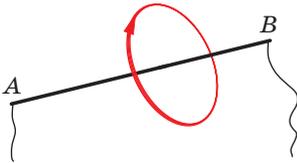


Рис. 1

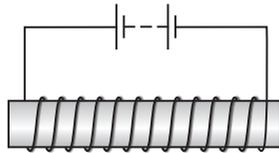


Рис. 2

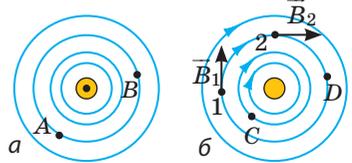


Рис. 3

- Яким полюсом має повернутися до спостерігача магнітна стрілка (рис. 4)? Чи зміниться відповідь, якщо стрілку розташувати над провідником?
- Над котушкою підвішено магніт (рис. 5). Як поводитиметься магніт, якщо замкнути коло? Відповідь обґрунтуйте.
- Як розташується відносно магніту рухома котушка (рис. 6), якщо: а) пропустити в ній струм? б) змінити в ній напрямок струму?
- На рис. 7 зображено джерело струму, котушку, ключ і магнітну стрілку. Визначте полюси джерела струму. Відповідь обґрунтуйте.
- У деяких електричних приладах прояви магнітного поля провідника зі струмом не є бажаними. У таких приладах використовують так звану *біфілярну намотку*: провід скручують удвоє так, щоб обидва його кінці опинилися поряд. Поясніть, у чому сенс такої намотки.

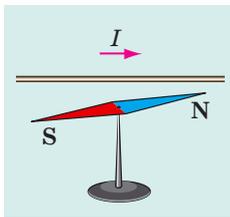


Рис. 4

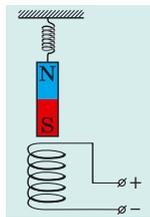


Рис. 5

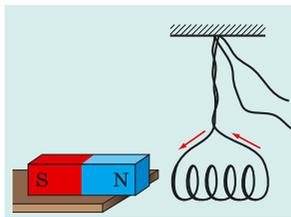


Рис. 6

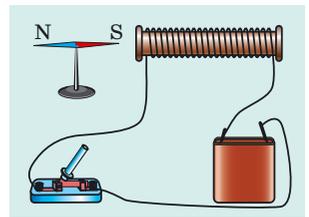


Рис. 7



### Експериментальне завдання

«Електромагнітний компас». Склейте паперовий циліндр завдовжки 4–5 см. Намотайте на одержаний каркас 20–30 витків тонкого гнучкого ізольованого дроту. Отриману таким чином котушку закріпіть горизонтально на невеликій дощечці (або корку) та з'єднайте кінці проводу з батареєю гальванічних елементів. За допомогою правої руки визначте полюси котушки й позначте їх на каркасі. Опустіть дощечку в широку посудину з водою. Електромагнітний компас готовий. Поясніть, як він діятиме. Вставте всередину котушки залізний цвях. Чи буде після цього ваш компас правильно показувати напрямок «північ — південь»?

## § 5. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Електричний шкільний дзвоник, електродвигун, підймальний кран на складі металобрухту, збагачувач залізної руди... Як пов'язані ці, на перший погляд зовсім різні, пристрої? Обізнана людина відповість, що в кожному використовується електромагніт. Отже, з'ясуємо, що таке електромагніт, і дізнаємося про те, як він працює.

### 1 З'ясовуємо, від чого залежить магнітна дія котушки зі струмом

Складемо електричне коло з джерела струму, котушки, реостата й амперметра. Для оцінки магнітної дії котушки зі струмом скористаємося залізним циліндром, який підвісимо на динамометр, розміщений над котушкою (рис. 5.1). Якщо замкнути коло, циліндр намагнітиться в магнітному полі котушки й притягнеться до неї, додатково розтягнувши пружину динамометра.



Рис. 5.1. Дослідження магнітної дії котушки зі струмом

Зрозуміло, що циліндр притягуватиметься до котушки тим сильніше, чим сильніша її магнітна дія.

Змінюючи за допомогою реостата силу струму в котушці, виявимо, що в разі збільшення сили струму циліндр притягується до котушки сильніше, про що свідчить більше розтягнення пружини динамометра. *У разі збільшення сили струму в котушці її магнітна дія посилюється.*

Замінивши котушку на іншу — з більшим числом витків, побачимо, що за тієї самої сили струму видовження пружини динамометра збільшиться. *У разі збільшення числа витків у котушці її магнітна дія посилюється.*

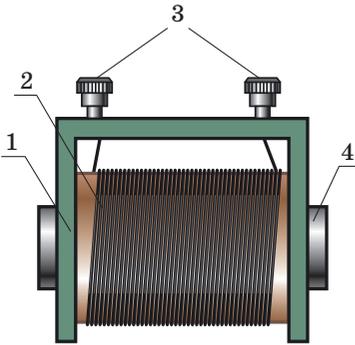
Уведемо в середину котушки осердя — товстий стрижень, виготовлений із феромагнітного матеріалу. Увімкнемо струм — циліндр спрямується до котушки та «прилипне» до осердя. *Магнітна дія котушки значно посилюється в разі введення в її середину феромагнітного осердя.*

**?** Згадайте магнітні властивості речовин і поясніть, чому для виготовлення осердя використовують саме феромагнітні матеріали. Чи збільшиться магнітна дія котушки, якщо використати осердя, виготовлене, наприклад, з міді або алюмінію?

### 2 Дізнаємося про будову електромагнітів і сферу їх застосування

Котушку з уведеним усередину осердям із феромагнітного матеріалу називають **електромагнітом**.

Розглянемо будову електромагніта (рис. 5.2). Будь-який електромагніт має *каркас* (1), виготовлений із діелектрика. На каркас щільно намотаний ізольований дріт — це *обмотка* електромагніта (2). Кінці обмотки підведені



**Рис. 5.2.** Будова електромагніта: 1 — каркас; 2 — обмотка; 3 — клеми; 4 — осердя



**Рис. 5.3.** У багатьох побутових приладах використовують електромагніти

до клем (3), за допомогою яких електромагніт приєднують до джерела струму. У середині каркаса розміщене осердя (4), виготовлене з м'якомагнітної сталі. Осердю електромагніта часто надають підковоподібної форми, оскільки в цьому випадку магнітна дія електромагніта значно посилюється.

Електромагніти набули широкого застосування в техніці насамперед тому, що їхню магнітну дію легко регулювати — достатньо змінити силу струму в обмотці. Крім того, електромагніти можна виготовити будь-яких форм і розмірів. Важко знайти галузь техніки, де б не застосовували електромагніти. Електромагніти містяться в багатьох побутових пристроях (рис. 5.3), входять до складу електродвигунів та електричних генераторів, електровимірювальних приладів і медичної апаратури. Гігантські електромагніти використовують у прискорювачах заряджених частинок.

Ми розглянемо застосування електромагнітів в електромагнітних підіймальних кранах та електромагнітному реле.

### 3 Вивчаємо принцип дії електромагнітного підіймального крана й електромагнітного реле

Проведемо дослід. Складемо електричне коло з джерела струму й електромагніта. Замкнувши коло, побачимо, що залізні ошурки притяглися до осердя електромагніта, отже, можемо перенести їх, наприклад, на інший кінець столу (рис. 5.4).

Саме за таким принципом працюють електромагнітні підіймальні крани (рис. 5.5), які переносять важкі залізні болванки, металобрухт тощо. І не потрібні ніякі гаки! Увімкнули струм — залізні предмети притяглися до електромагніта і їх перенесли в потрібне місце, вимкнули струм — залізні предмети припинили притягуватись і залишились там, куди їх перенесли.

На промислових підприємствах часто застосовують споживачі електроенергії, сила струму в яких сягає сотень і тисяч амперів. Замикальний пристрій і споживач з'єднані послідовно, тому через замикальний пристрій має проходити струм великої сили. А це становить небезпеку для людей, які працюють за пультом керування.

На допомогу приходять **електромагнітні реле** — пристрої для керування електричним колом (рис. 5.6). Зверніть увагу: замикальний пристрій (1), установлений на пульті керування, та електромагніт (2) приєднані до джерела струму *A* з малою напругою на виході, а споживач (на рисунку це електродвигун) живиться від потужного джерела *B*.



**Рис. 5.4.** Після замикання кола залізни ошурки притягуються до осердя (а); після розімкнення — відпадають (б)



**Рис. 5.5.** Електромагнітний підймальний кран

### Підбиваємо підсумки

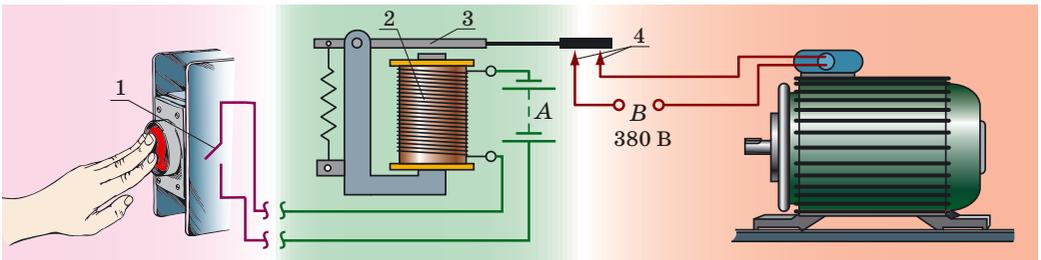
Магнітна дія котушки зі струмом посилюється, якщо в ній збільшити число витків; збільшити силу струму; внести в середину котушки осердя, виготовлене з феромагнітного матеріалу.

Котушку з уведеним у середину осердям, виготовленим із м'якомагнітної сталі, називають електромагнітом.

Електромагніти набули широкого застосування в техніці. Це зумовлене тим, що магнітну дію електромагніта легко регулювати, змінюючи силу струму в обмотці, а також тим, що електромагніти можна виготовити будь-яких форм і розмірів.

### Контрольні запитання

1. Від чого і як саме залежить магнітна дія котушки зі струмом? Опишіть дослід на підтвердження вашої відповіді.
2. Що таке електромагніт? Опишіть його будову.
3. Чому електромагніти набули широкого застосування в техніці?
4. Поясніть принцип дії електромагнітного підймального крана.
5. Для чого призначене електромагнітне реле? Опишіть принцип його дії.



**Рис. 5.6.** Принцип дії електромагнітного реле. У разі замикання ключа (1) (натискання кнопки) в обмотці електромагніта (2) йде слабкий безпечний струм. Унаслідок цього залізне осердя електромагніта притягує до себе яркір (3). Коли яркір замикає контакти (4), замикається коло електродвигуна, який споживає струм значно більшої сили

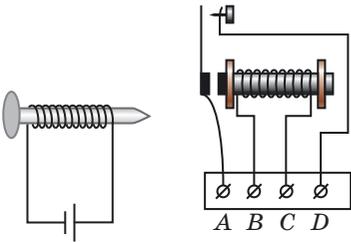


Рис. 1

Рис. 2

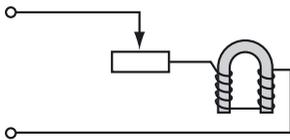


Рис. 3

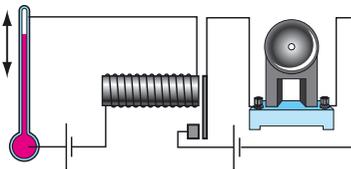
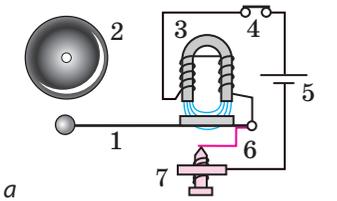
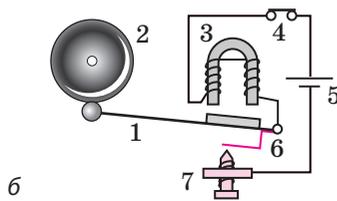


Рис. 4



а



б

Рис. 5. Схема дії електричного дзвінка: 1 — молоточок; 2 — чаша дзвінка; 3 — дугopodobний електромагніт; 4 — кнопка; 5 — джерело струму; 6 — контактна пружина, яка торкається гвинта 7



### Вправа № 5

1. Замість м'якомагнітної сталі для виготовлення осердя електромагніта використали жорсткомагнітний матеріал. Які недоліки матиме такий електромагніт?
2. Намотавши на залізний цвях ізолюваний дріт і з'єднавши кінці дроту з батареєю гальванічних елементів, одержали найпростіший електромагніт (рис. 1). Визначте полюси цього електромагніта.
3. До яких затискачів електромагнітного реле (рис. 2) слід приєднати джерело слабкого (керувального) струму?
4. Як зміниться підймальна сила електромагніта, якщо пересунути повзунок реостата праворуч (рис. 3)? Відповідь обґрунтуйте.
5. На рис. 4 подано схему будови автомата, що спрацьовує за певної температури. Назвіть основні частини цього пристрою, поясніть принцип його дії. Де доцільно встановлювати такі автомати?
6. Скориставшись рис. 5, спробуйте самостійно розібратися, як працює електричний дзвінок. Якщо не вийде, то зверніться до додаткових джерел інформації.
7. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про технологію магнітної сепарації і про те, в яких пристроях використовують цю технологію. Підготуйте коротке повідомлення або електронну презентацію.
8. Дайте характеристику сили як фізичної величини: що вона характеризує, яким символом позначається, скалярна це величина чи векторна, якими є її одиниці в СІ.



### Експериментальне завдання

Виготовте найпростіший електромагніт: намотайте на залізний цвях ізолюваний дріт і з'єднайте його кінці з батареєю гальванічних елементів (див. рис. 1). Розімкнувши коло, закріпіть електромагніт горизонтально на деякій відстані від поверхні столу. Змішайте дрібні шматочки паперу, зерна рису та дрібні залізні предмети (краще ошурки). Замкніть коло. Повільно просипаючи суміш повз голівку цвяха, відокремте залізні предмети. Подумайте, де можна використовувати аналогічний пристрій і як його вдосконалити.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1



**Тема.** Виготовлення та випробування електромагніта.

**Мета:** навчитися виготовляти найпростіший електромагніт; з'ясувати, від чого залежить його дія.

**Обладнання:** амперметр, пробник або динамометр, магнітна стрілка або компас, ізольований мідний дріт, джерело постійного струму, залізні стрижні (або великі цвяхи), залізні ошурки, реостат, ключ, з'єднувальні проводи, штатив (якщо використовуватиметься динамометр).

### Теоретичні відомості

Для оцінки магнітної дії електромагніта можна скористатися *пробником* (рис. 1). Він складається зі сталеві пластинки (1), яку закріплено за допомогою пружини (2) усередині пластмасового корпусу (3). На сталеву пластинку пробника нанесено шкалу (4). Якщо піднести пробник до електромагніта, магнітне поле останнього буде діяти на пластинку пробника. Пластинка притягуватиметься до електромагніта тим більше, чим сильніша його магнітна дія. Силу притягання оцінюють за шкалою. У разі відсутності пробника силу притягання електромагніта можна виміряти за допомогою динамометра та підвишеного до нього невеличкого сталевго стрижня.

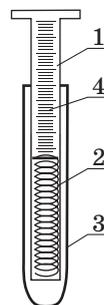


Рис. 1

### ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



#### Підготовка до експерименту

- Перед виконанням роботи згадайте:
  - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
  - 2) правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання сили струму амперметром;
  - 3) як залежить магнітна дія електромагніта від сили струму, числа витків і наявності залізного осердя.
- Визначте ціни поділки шкал амперметра та динамометра.



#### Експеримент

- Виготовте два електромагніти з різною кількістю витків в обмотці. Для цього візьміть два однакові залізні стрижні й намотайте на них різну кількість витків ізольованого мідного дроту: на один стрижень — 20 витків, на другий — 40.
- Узявши електромагніт із більшим числом витків, складіть електричне коло за схемою на рис. 2.
- Замкніть коло й переконайтеся, що електромагніт притягує залізні ошурки, тобто виявляє магнітні властивості.

4. За допомогою магнітної стрілки визначте полюси отриманого електромагніта. Опишіть, як ви це зробили.

5. З'ясуйте, від чого залежить магнітна дія електромагніта.

1) Використавши реостат, в обмотці електромагніта з більшим числом витків установіть силу струму спочатку 0,5 А, а потім 1,5 А. Порівняйте магнітну дію електромагніта за різної сили струму в обмотці.

2) Вийміть осердя з електромагніта і встановіть в обмотці силу струму 1,5 А. З'ясуйте, як впливає наявність осердя на магнітну дію електромагніту.

3) Складіть електричне коло (див. [рис. 2](#)) з електромагнітом, який має менше витків. За допомогою реостата встановіть у колі струм силою 1,5 А. Визначте, як зменшення числа витків впливає на магнітну дію електромагніта.

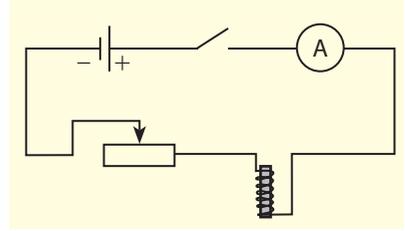


Рис. 2

### Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте, як залежить магнітна дія електромагніта від сили струму, кількості витків в обмотці, від наявності залізного осердя.

### Творче завдання

Чи можна намотати обмотку електромагніта таким чином, щоб у разі підключення до нього джерела струму на обох кінцях електромагніта утворилися південні полюси? Якщо можна, то поясніть, як це зробити. Перевірте своє припущення експериментально.

## Фізика і техніка в Україні

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка** заснований 8 листопада 1833 р. як Імператорський університет Святого Володимира. Першим ректором університету став видатний учений-енциклопедист *Михайло Олександрович Максимович*. У березні 1939 р., на честь 125-річчя з дня народження Тараса Шевченка, Київському університету присвоєно ім'я великого Кобзаря.

Із Київським університетом пов'язані імена видатних вчених — математиків, фізиків, кібернетиків, астрономів: Д. О. Граве, М. П. Кравчука, Г. В. Пфейффера, М. М. Боголюбова, В. М. Глушкова, А. В. Скорохода, Й. І. Гіхмана, Б. В. Гнеденка, В. С. Михалевича, Авенаріуса, М. М. Шіллера, Й. Й. Косоногова, О. Г. Ситенка, В. Є. Лашкарьова, Р. П. Фогеля, М. Ф. Хандрикова, С. К. Всехсвятського.

У світі добре відомі наукові школи Київського університету — алгебраїчна, теорії ймовірностей та математичної статистики, механіки, фізики напівпровідників, фізичної електроніки та фізики поверхні, металогенічна, оптики нових матеріалів та ін.

Із 2008 р. ректором університету є академік НАНУ і НАПНУ, Герой України *Леонід Васильович Губерський*.

## § 6. СИЛА АМПЕРА

Із матеріалу § 2 ви дізналися, що магнітне поле діє з певною силою на рухомі заряджені частинки, а отже, й на провідник зі струмом. А з курсу фізики 8 класу пам'ятаєте, що сила — це векторна фізична величина, тому, щоб повністю визначити силу, слід уміти розраховувати її значення та визначати напрямок. Від чого залежить значення сили, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, як вона напрямлена й чому її називають силою Ампера, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

### 1 Характеризуємо силу, яка діє на провідник зі струмом

Візьмемо прямий провідник, виготовлений із слабомагнітного матеріалу, наприклад алюмінію, і підвісимо його на тонких і гнучких проводах таким чином, щоб він перебував між полюсами підковоподібного постійного магніту (рис. 6.1, а). Якщо пропустити в провіднику струм, провідник відхилиться від положення рівноваги (рис. 6.1, б). Причиною такого відхилення є сила, що діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля. Довів наявність цієї сили і з'ясував, від чого залежать її значення та напрямок, А. Ампер. Саме тому цю силу називають *силою Ампера*.

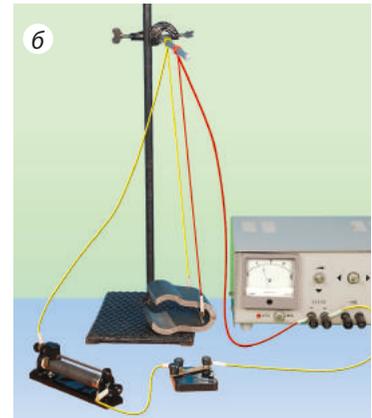
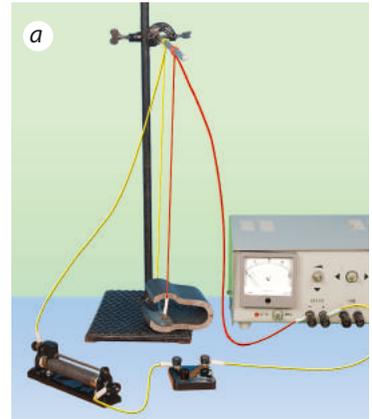
**Сила Ампера** — це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

Експериментально встановлено, що сила Ампера прямо пропорційна силі струму в провіднику та довжині тієї частини провідника, яка перебуває в магнітному полі. Сила Ампера збільшується з посиленням магнітного поля і залежить від того, під яким кутом до ліній індукції магнітного поля розташований провідник.

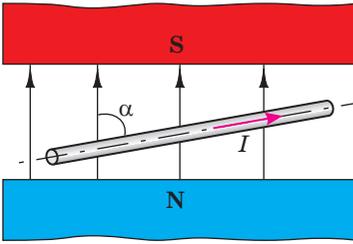
Значення сили Ампера ( $F_A$ ) обчислюють за формулою:

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

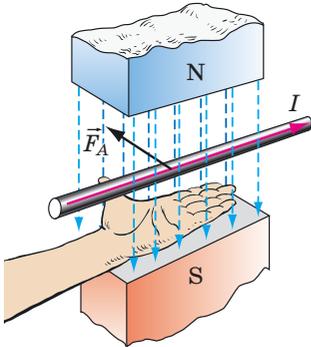
де  $B$  — індукція магнітного поля, в якому розташований провідник;  $I$  — сила струму в провіднику;  $l$  — довжина активної частини провідника (тобто частини провідника, розташованої в магнітному полі);  $\alpha$  — кут між напрямком вектора магнітної індукції і напрямком струму в провіднику (рис. 6.2).



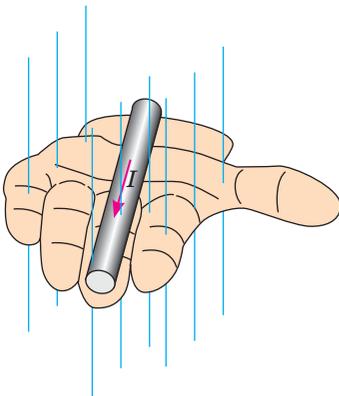
**Рис. 6.1.** Дослід, який демонструє дію магнітного поля на алюмінієвий провідник: у разі відсутності струму магнітне поле на провідник не діє (а); якщо в провіднику тече струм, на провідник діє магнітне поле і провідник відхиляється (б)



**Рис. 6.2.** Кут  $\alpha$  — це кут між напрямком вектора магнітної індукції і напрямком струму в провіднику



**Рис. 6.3.** Визначення напрямку сили Ампера за правилом лівої руки



**Рис. 6.4.** До завдання в § 6

*Зверніть увагу!* Сила Ампера буде найбільшою, якщо провідник розташований перпендикулярно до магнітних ліній поля, і дорівнюватиме нулю, якщо провідник розташований паралельно магнітним лініям поля.

**?** Поясніть останнє твердження самостійно.

Щоб визначити напрямок сили Ампера, використовують **правило лівої руки**:

Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрямок сили Ампера (рис. 6.3).

**?** На рис. 6.4 показано визначення напрямку сили Ампера, яка діє на провідник, розташований у магнітному полі, напрямленому вертикально. Скориставшись рисунком, визначте напрямок струму в провіднику, напрямок індукції магнітного поля та напрямок сили Ампера.

## 2 Отримуємо формулу для означення магнітної індукції

Якщо провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітного поля ( $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ ), то поле діє на провідник із максимальною силою:

$$F_{A\max} = BIl$$

З останньої формули знайдемо значення магнітної індукції:  $B = \frac{F_{A\max}}{Il}$ .

**Магнітна індукція** — це векторна фізична величина, що характеризує силову дію магнітного поля та чисельно дорівнює відношенню максимальної сили, з якою магнітне поле діє на розташований у цьому полі провідник зі струмом, до добутку сили струму в провіднику на довжину активної частини провідника:

$$B = \frac{F_{A\max}}{Il}$$

*Зверніть увагу!* Значення магнітної індукції не залежить ані від сили струму в провіднику, ані від довжини активної частини провідника, а залежить лише від властивостей магнітного поля.

Одиниця магнітної індукції в СІ — тесла ( $[B]=1\text{Тл}$ ), тому:

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

1 Тл — це індукція такого однорідного магнітного поля, яке діє із силою 1 Н на провідник завдовжки 1 м, у якому тече струм силою 1 А.

### 3 Учимся розв'язувати задачі

**Задача 1.** Доведіть, що два паралельні провідники, в яких тече струм одного напрямку, притягуються.

*Аналіз фізичної проблеми.* Навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле, отже, кожен із двох провідників перебуває в магнітному полі іншого. На перший провідник діє сила Ампера з боку магнітного поля, створеного струмом у другому провіднику, і навпаки. Визначивши за правилом лівої руки напрямки цих сил, з'ясуємо, притягуються провідники чи відштовхуються.

*Розв'язання*

У ході розв'язання виконаємо пояснювальні рисунки: зобразимо провідники  $A$  і  $B$ , покажемо напрямок струму в них та ін.

Визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник  $A$ , що перебуває в магнітному полі провідника  $B$ .

1) За допомогою правила правої руки визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником  $B$  (рис. 1, *a*). Бачимо, що біля провідника  $A$  магнітні лінії напрямлені до нас (позначка «•»).

2) Скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник  $A$  з боку магнітного поля провідника  $B$  (рис. 1, *б*).

3) Доходимо висновку: провідник  $A$  притягується до провідника  $B$ .

Тепер знайдемо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник  $B$ , що перебуває в магнітному полі провідника  $A$ .

1) Визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником  $A$  (рис. 2, *a*). Бачимо, що біля провідника  $B$  магнітні лінії напрямлені від нас (позначка «×»).

2) Визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник  $B$  (рис. 2, *б*).

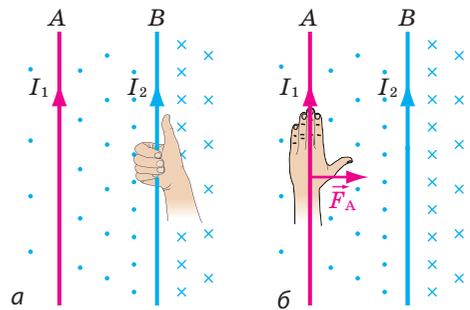


Рис. 1

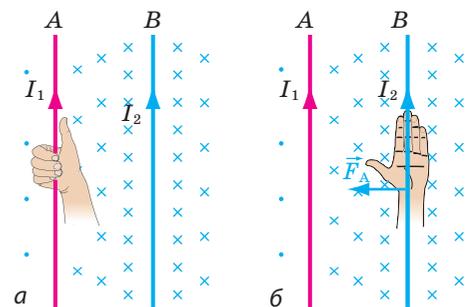
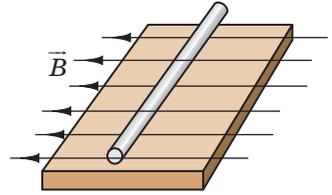


Рис. 2

3) Доходимо висновку: провідник  $B$  притягується до провідника  $A$ .

*Відповідь:* два паралельні провідники, в яких протікають струми одного напрямку, дійсно притягуються.

**Задача 2.** Прямий провідник завдовжки 0,1 м і масою 40 г перебуває в горизонтальному однорідному магнітному полі індукцією 0,5 Тл. Стрижень розташований перпендикулярно до магнітних ліній поля (див. рисунок). Струм якої сили та в якому напрямку слід пропустити в стрижні, щоб він не тиснув на опору?



*Аналіз фізичної проблеми.* Стрижень розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля, тому сила Ампера, що діє на нього, є максимальною ( $F_{A \max}$ ). Стрижень не буде тиснути на опору, якщо сила Ампера зрівноважить силу тяжіння. Це відбудеться в разі, коли: 1) сила Ампера буде напрямлена протилежно силі тяжіння, тобто вертикально вгору, та 2) значення сили Ампера дорівнюватиме значенню сили тяжіння:  $F_{A \max} = F_{\text{тяж}}$ .

Напрямок струму визначимо, скориставшись правилом лівої руки. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

*Дано:*

$$l = 0,1 \text{ м}$$

$$m = 40 \text{ г} = 0,04 \text{ кг}$$

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

*Знайти:*

$$I \text{ — ?}$$

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

1. Визначимо напрямок струму. Для цього розташуємо ліву руку так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а відігнутий на  $90^\circ$  великий палець був напрямлений вертикально вгору. Чотири витягнуті пальці вкажуть напрямок від нас. Отже, струм у провіднику слід спрямувати від нас.

2. Враховуємо, що  $F_{A \max} = F_{\text{тяж}}$ .

Оскільки  $F_{A \max} = BIl$ , а  $F_{\text{тяж}} = mg$ , маємо:  $BIl = mg$ .

З останнього виразу знайдемо силу струму:  $I = \frac{mg}{Bl}$ .

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини.

$$\text{Згадаємо: } \text{Тл} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}; [I] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{А} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \text{А}; I = \frac{0,04 \cdot 10}{0,5 \cdot 0,1} = \frac{40}{5} = 8 \text{ (А)}.$$

*Відповідь:*  $I = 8 \text{ А}$ ; від нас.



### Підбиваємо підсумки

Силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, називають силою Ампера. Значення сили Ампера обчислюють за формулою:  $F_A = BIl \sin \alpha$ , де  $B$  — індукція магнітного поля;  $I$  — сила струму в провіднику;  $l$  — довжина активної частини провідника;  $\alpha$  — кут між напрямком магнітної індукції і напрямком струму в провіднику.

Для визначення напрямку сили Ампера використовують правило лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на  $90^\circ$  великий палець укаже напрямок сили Ампера.



### Контрольні запитання

1. Опишіть дослід на підтвердження того, що в магнітному полі на провідник зі струмом діє сила. 2. Дайте означення сили Ампера. 3. Від яких чинників залежить значення сили Ампера? За якою формулою визначають її значення? 4. Як слід розташувати провідник, щоб сила Ампера була найбільшою? У якому випадку магнітне поле не діє на провідник? 5. Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Ампера. 6. Дайте означення індукції магнітного поля. 7. Дайте означення одиниці магнітної індукції.



### Вправа № 6

1. На рис. 1 зображено напрямок струму в провіднику та напрямок ліній індукції магнітного поля для кількох випадків. Визначте напрямок сили Ампера для кожного випадку.

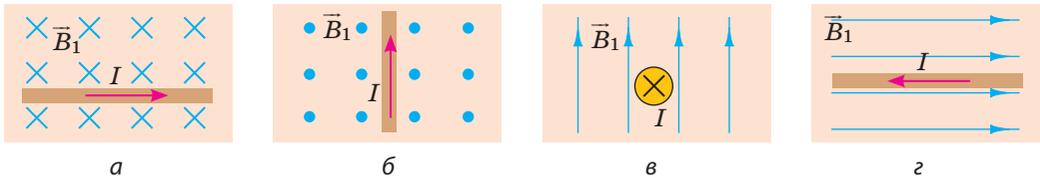


Рис. 1

2. У прямолинійному провіднику завдовжки 60 см тече струм силою 1,2 А. Провідник розташований в однорідному магнітному полі індукцією 1,5 Тл. Визначте найбільше та найменше значення сили Ампера, яка може діяти на провідник.
3. На рис. 2 і рис. 3 зображено провідник зі струмом, який відхиляється в магнітному полі постійного магніту. Визначте: а) полюси магніту (рис. 2); б) напрямок струму в провіднику (рис. 3).
4. На прямолинійний провідник зі струмом 2,5 А в однорідному магнітному полі індукцією 40 мТл діє сила Ампера 60 мН. Визначте: а) якою є довжина провідника, якщо він розташований під кутом  $30^\circ$  до ліній магнітної індукції; б) яку роботу виконало магнітне поле, якщо під дією сили Ампера провідник перемістився на 0,5 м у напрямку цієї сили?

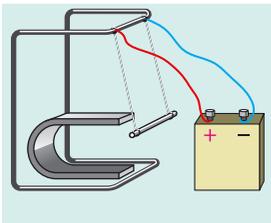


Рис. 2

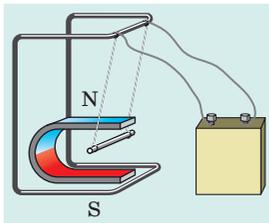


Рис. 3

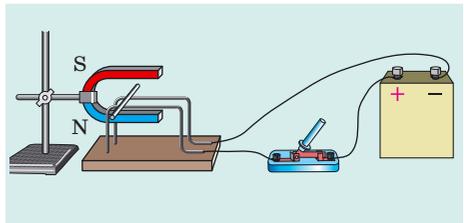


Рис. 4

5. Доведіть, що два провідники, в яких пропускають струми протилежних напрямків, відштовхуються.

6. Горизонтальний провідник масою 5 г і завдовжки 10 см лежить на рейках у вертикальному магнітному полі індукцією 25 мТл (рис. 4). Визначте: а) в якому напрямку рухатиметься провідник, якщо замкнути електричне коло; б) коефіцієнт тертя, якщо за сили струму в провіднику 5 А провідник рухається прямолінійно рівномірно.
7. Складіть задачу, обернену до задачі 2 у § 6.



### Експериментальне завдання

«Солений двигун». Підвісьте до м'якої металевої пружини залізний цвях; вістря цвяха розмістіть у розчині кухонної солі так, щоб воно лише торкалося рідини (див. рис. 5). Складіть електричне коло, як показано на рис. 5. Замкніть коло — цвях почне коливатися, розімкніть коло — коливання швидко припиняться. Поясніть спостережуване явище.

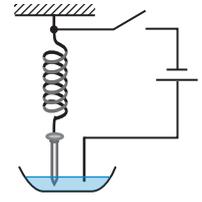


Рис. 5

## і

## § 7. ЕЛЕКТРОДВИГУНИ. ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

Фізичні дослідження, які часто проводять заради «наукової цікавості», в разі вдалого завершення зазвичай започатковують новий етап у розвитку техніки. Саме так сталося з вивченням електромагнітних явищ. Ще в 1821 р. англійський учений *Майкл Фарадей* виявив, що внаслідок взаємодії постійного магніту і рамки зі струмом може спостерігатись ефект обертання рамки. Минув час, і тепер наше життя неможливо уявити без електричних двигунів — екологічно чистих, зручних, компактних пристроїв, в яких енергія електричного струму перетворюється на механічну енергію. Про те, як це відбувається, ви дізнаєтесь з цього параграфа.

### 1

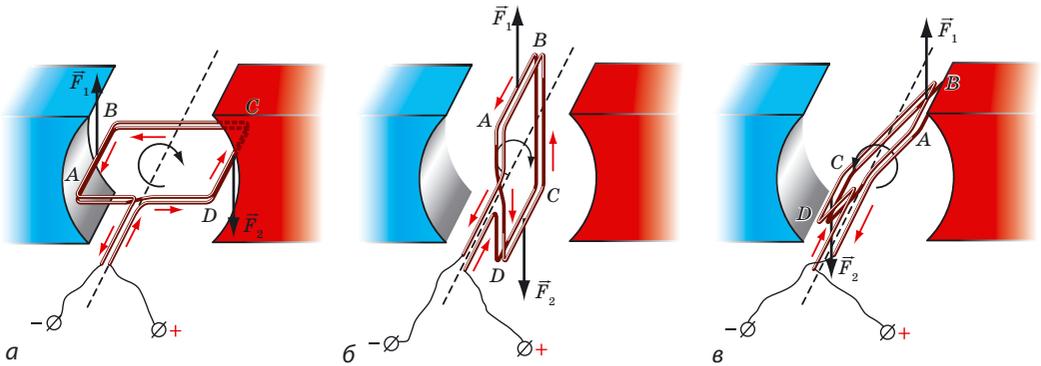
### Вивчаємо дію магнітного поля на рамку зі струмом

Візьмемо легку прямокутну рамку, що складається з кількох витків ізоляваного дроту, і помістимо її між полюсами магніту так, щоб вона могла легко обертатися навколо горизонтальної осі.

Пропустимо в рамці електричний струм (рис. 7.1, а). Рамка повернеться і, гойднувшись кілька разів, розташується так, як показано на рис. 7.1, б. Це положення є положенням рівноваги рамки.

З'ясуємо, чому *рамка починає рух*. Для цього, скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, що діє на кожну сторону рамки на початку спостереження. На рис. 7.1, а бачимо, що сила Ампера  $\vec{F}_1$ , яка діє на сторону  $AB$ , напрямлена вгору, а сила Ампера  $\vec{F}_2$ , яка діє на сторону  $CD$ , напрямлена вниз. Отже, обидві сили повертають рамку за ходом годинникової стрілки.

А тепер з'ясуємо, чому рамка припинила рух. Річ у тім, що після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера повертатимуть її вже



**Рис. 7.1.** Дослідження дії магнітного поля на рамку зі струмом (напрямок струму позначено червоними стрілками):  
 а — сили Ампера ( $\vec{F}_1$  і  $\vec{F}_2$ ) повертають рамку  $ABCD$  за ходом годинникової стрілки;  
 б — у положенні рівноваги сили Ампера не повертають рамку, а розтягують;  
 в — після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера повертають її проти ходу годинникової стрілки

проти годинникової стрілки (рис. 7.1, в). У результаті рамка почне повертатись у зворотному напрямку, пройде положення рівноваги та знову змінить напрямок руху. Урешті-решт через дію сил тертя рамка зупиниться.

**?** Skorиставшись правилом лівої руки, переконайтеся в тому, що для кожного з положень рамки, зображених на рис. 7.1, сила  $\vec{F}_1$ , яка діє на сторону  $AB$  рамки, напрямлена вгору, а сила  $\vec{F}_2$ , яка діє на сторону  $CD$  рамки, — вниз.

## 2 Дізнаємось, як працює двигун постійного струму

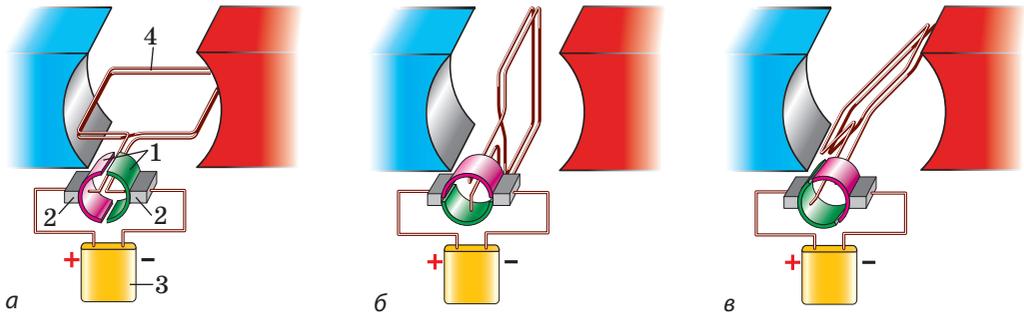
Обертання рамки зі струмом у магнітному полі було використано у створенні електричних двигунів.

**Електричний двигун** — це пристрій, у якому електрична енергія перетворюється на механічну.

Щоб зрозуміти, як працює електродвигун постійного струму, спочатку з'ясуємо, як змусити рамку безперервно обертатися в одному напрямку. Неважко здогадатися: треба, щоб у момент проходження рамкою положення рівноваги напрямок струму в рамці змінювався на протилежний.

Пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в рамці, називають **колектором**.

На рис. 7.2 зображено модель, за допомогою якої можна ознайомитися з принципом дії колектора. Власне колектор являє собою два півкільця (1), до кожного з яких притиснута металева щітка (2). Півкільця виготовлені з провідника й розділені проміжком. Щітки слугують для підведення напруги від джерела струму (3) до рамки (4), яка легко обертається навколо горизонтальної осі й розташована між полюсами потужного магніту.



**Рис. 7.2.** Модель, яка демонструє принцип дії колектора (а). Після проходження положення рівноваги (б) щітки колектора притиснуті вже до інших півкілець (в)

Одну щітку з'єднують з позитивним полюсом джерела струму, другу — з негативним.

Після замикання кола рамка внаслідок дії сил Ампера починає повертатися за ходом годинникової стрілки (рис. 7.2, а). Півкільця колектора повертаються разом із рамкою, а щітки залишаються нерухомими, тому після проходження положення рівноваги (рис. 7.2, б) до щіток будуть притиснуті вже інші півкільця (рис. 7.2, в). Напрямок струму в рамці зміниться на протилежний, а напрямку її обертання не зміниться — рамка продовжить рух за ходом годинникової стрілки.

- ❓ Визначте для положень а і в рамки (див. рис. 7.2) напрямки сил Ампера, що діятимуть на сторони рамки. Доведіть, що в цих випадках сили Ампера обертатимуть рамку за ходом годинникової стрілки.

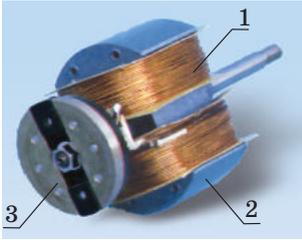
Отже, щоб зробити електричний двигун, потрібно мати: 1) постійний магніт або електромагніт; 2) провідний контур; 3) джерело струму; 4) колектор.

### 3 Збільшуємо потужність електричного двигуна та забезпечуємо рівномірність його роботи

Сила Ампера, яка забезпечує обертання рамки, прямо пропорційна довжині провідника. Тому для збільшення потужності електродвигуна його обмотку виготовляють із великої кількості витків дроту. Витки вкладають у спеціальні пази на бічній поверхні осердя — циліндра, виготовленого з листів м'якомагнітної сталі. Осердя з обмоткою слугує **якорем** двигуна. Якір разом із півкільцями колектора утворюють **ротор** (від латин. *rotare* — обертатися) двигуна (рис. 7.3).

Для забезпечення рівномірного обертання ротора використовують кілька обмоток, які намотують на одне осердя. Колектор такого двигуна має не два півкільця, а низку мідних дугоподібних пластин, закріплених на ізолюваному барабані (рис. 7.4).

У сучасних електродвигунах (рис. 7.5) замість постійного магніту використовують електромагніт (*індуктор*). Такий електромагніт становить одне ціле з корпусом електродвигуна та слугує **статором** (від латин. *stator* — той,



**Рис. 7.3.** Ротор двигуна, який містить одну обмотку: 1 — обмотка, 2 — осердя, 3 — півкільця



**Рис. 7.4.** Ротор двигуна, який містить дванадцять обмоток: 1 — пластини колектора, 2 — обмотка з осердям (якір)

що стоїть нерухомо). Обмотка статора (її ще називають обмоткою збудження) підключена до того самого джерела струму, що й обмотка ротора. Коли в обмотках ротора й статора йде струм, ротор обертається в магнітному полі статора і двигун працює.

Електродвигуни постійного струму застосовують в електротранспорті — трамваях, троллейбусах, електровозах, електромобілях, використовують як стартери для запуску двигунів внутрішнього згоряння. У промисловості та побуті частіше застосовують електродвигуни змінного струму.

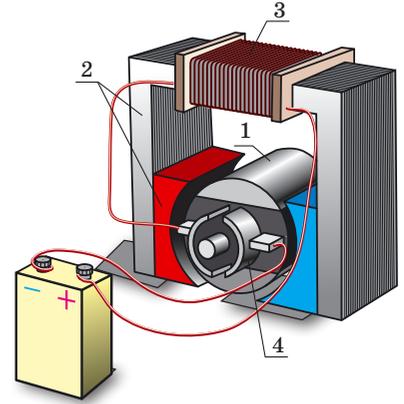
Електричні двигуни мають істотні переваги перед тепловими. Електродвигуни більш компактні, економні (їхній ККД сягає 98 %), зручні в застосуванні (їхню потужність легко регулювати). Крім того, електричні двигуни не забруднюють навколишнє середовище.

#### 4 Знайомимося з принципом дії електровимірювальних приладів

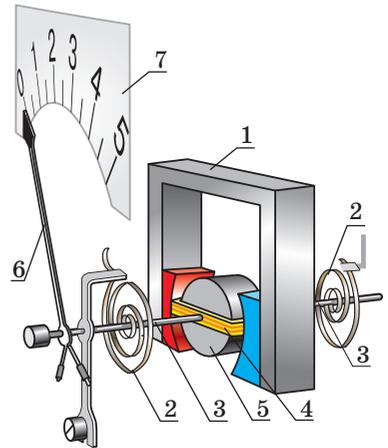
Повертання рамки зі струмом у магнітному полі постійного магніту використовують в електровимірювальних приладах *магніто-електричної системи* — гальванометрах, амперметрах, вольтметрах.

Вимірювальний механізм таких приладів зображено на [рис. 7.6](#).

Коли струм у рамці 4 відсутній, спіральні пружини 2 утримують півосі 3, а отже, й стрілку 6 таким чином, що кінець стрілки встановлюється на нульовій позначці.



**Рис. 7.5.** Модель електродвигуна постійного струму: 1 — ротор; 2 — статор; 3 — обмотка статора; 4 — колектор



**Рис. 7.6.** Схема вимірювального механізму приладу магніто-електричної системи: 1 — постійний нерухомий магніт; 2 — спіральні пружини; 3 — півосі; 4 — рамка, жорстко закріплена на півосях; 5 — нерухоме осердя; 6 — стрілка; 7 — шкала

Коли прилад вмикають у коло, в рамці починає йти струм і внаслідок дії сил Ампера рамка повертається в магнітному полі постійного магніту 1. Разом із рамкою повертаються півосі, а отже, і стрілка.

Під час повертання рамки закручуються пружини й виникають додаткові сили пружності. Коли момент сил пружності зрівноважує момент сил Ампера, повертання припиняється, а стрілка залишається відхиленою на певний кут. Чим більша сила струму в рамці, тим на більший кут відхилиться стрілка і тим більшими будуть покази приладу.

Приладам магнітоелектричної системи властиві велика точність і висока чутливість.

### 5 Зіставляємо амперметр і вольтметр

За внутрішньою будовою амперметр і вольтметр є практично однаковими; відрізняються лише їхні електричні опори. Амперметр вмикають у коло послідовно, тому його опір має бути якнайменшим, інакше сила струму в колі значно зменшиться. А от вольтметр приєднують до кола паралельно з пристроєм, на якому вимірюють напругу, отже, щоб сила струму в колі майже не змінювалася, опір вольтметра має бути якнайбільшим.



### Підбиваємо підсумки

Унаслідок дії сил Ампера рамка зі струмом може обертатися в магнітному полі. Явище обертання рамки зі струмом у магнітному полі використовують у роботі електродвигунів. Рухома частина електродвигуна — ротор — складається з металевого осердя і рамки, струм до якої підводиться за допомогою колектора. Ротор обертається в магнітному полі потужного електромагніта — статора.

Електричні двигуни мають певні переваги перед тепловими: вони компактніші, економніші, зручніші в застосуванні, не забруднюють навколишнє середовище. Гальванометри, амперметри і вольтметри, якими користуються на уроках фізики, — це вимірювальні прилади магнітоелектричної системи. Їхня дія ґрунтується на повертанні рамки зі струмом у магнітному полі постійного магніту.



### Контрольні запитання

1. Чому рамка зі струмом повертається в магнітному полі? чому зупиняється?
2. Назвіть основні частини електродвигуна. Яка з них «відповідає» за безперервне обертання ротора? Як вона улаштована?
3. Як улаштований ротор електродвигуна?
4. Що являє собою статор електродвигуна?
5. Назвіть переваги електричних двигунів порівняно з тепловими.
6. Опишіть будову та принцип дії вимірювальних приладів магнітоелектричної системи.
7. Чи відрізняються будова та принцип дії амперметрів і вольтметрів? Якщо так, то чим?



### Вправа № 7

1. На рис. 1 зображено рамку зі струмом, яка повертається в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в рамці.
2. Чому в разі послідовного приєднання вольтметра до кола сила струму в колі значно зменшується?

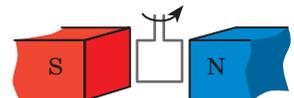


Рис. 1

3. На затискачах вимірювальних приладів магнітоелектричної системи зазначено полярність («+» і «-»). Що буде, якщо, вмикаючи прилад, не дотриматися полярності?
4. Електричні двигуни мають низку переваг перед тепловими. Чому ж людство не відмовляється від застосування теплових двигунів?
5. Окрім електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи існують прилади електродинамічної та електромагнітної систем. У приладах електродинамічної системи (рис. 2) замість постійного магніту використовують електромагніт. Дія вимірювальних приладів електромагнітної системи (рис. 3) базується на явищі втягування феромагнітного диска в проміжок нерухокої котушки зі струмом. Розгляньте рис. 2 і рис. 3, спробуйте пояснити, як працюють ці прилади. Якщо треба, то зверніться до додаткових джерел інформації.
6. Згадайте, що таке електричний струм. Дайте означення електричного струму. За яких умов він виникає?

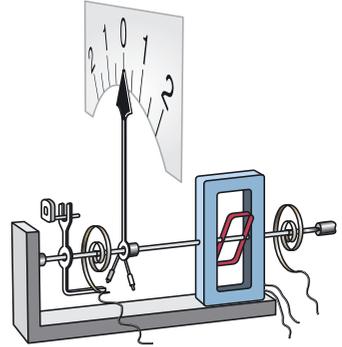


Рис. 2

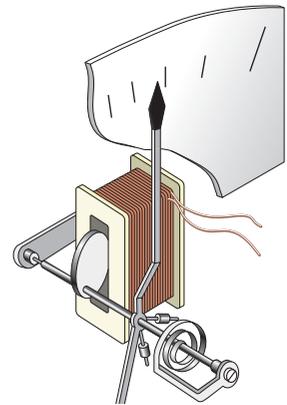


Рис. 3



### Експериментальне завдання

«Ламайстер». Розгляньте будову електричного двигуна, вийнятого з іграшки. Приєднайте двигун до батареї гальванічних елементів і зверніть увагу на напрямок обертання ротора. Яким чином, на вашу думку, можна змінити напрямок обертання ротора на протилежний? Перевірте свої припущення.

### Фізика і техніка в Україні



**Олександр Ілліч Ахієзер** (1911–2000) — видатний український фізик-теоретик, академік НАНУ, засновник наукової школи з теоретичної фізики. Серед його учнів — академіки В. Г. Бар'яхтар, Д. В. Волков, С. В. Пелетінський, О. Г. Ситенко і понад 30 членів-кореспондентів та докторів наук.

Досліджуючи взаємодію ультразвуку з кристалами, О. І. Ахієзер розробив механізм поглинання, зумовлений модуляцією енергії квазічастинки зовнішнім полем, який отримав назву «механізм Ахієзера». Вчений є автором теорії резонансних ядерних реакцій, фундаментальні результати здобув під час дослідження фізики плазми, разом з учнями сформулював основи електродинаміки плазми.

Спільно з В. Г. Бар'яхтаром і С. В. Пелетінським науковець відкрив нове явище — магнітоакустичний резонанс.

Іменем О. І. Ахієзера названо Інститут теоретичної фізики, що є структурним підрозділом Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут».