

## § 18. МАГНІТНЕ ПОЛЕ СТРУМУ

?!

Ще вчені Давньої Греції припускали, що магнітні й електричні явища пов'язані між собою, проте встановити їх зв'язок вдалося лише на початку XIX ст. Пригадаємо, хто першим помітив цей зв'язок, що таке магнітне поле, і введемо поняття фізичної величини, яка є силовою характеристикою магнітного поля.

1

### Хто й коли виявив зв'язок електрики та магнетизму

15 лютого 1820 р. данський фізик *Ганс Крістіан Ерстед* (1777–1851), демонструючи студентам досліди з нагріванням провідників електричним струмом, помітив, що *під час проходження струму магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, відхиляється від напрямку «північ — південь»* (рис. 18.1). Це було перше безпосереднє підтвердження зв'язку електрики та магнетизму.

Французький математик і фізик *Андре Марі Ампер* (1775–1836) уперше почув про досліди Г. К. Ерстеда 4 вересня 1820 р. і вже за тиждень продемонстрував взаємодію двох паралельно розташованих провідників зі струмом (рис. 18.2) і взаємодію двох котушок, по яких проходить електричний струм. Аналізуючи результати дослідів, учений зробив висновок: провідники електрично нейтральні, тому їхнє притягання або відштовхування не може бути пояснене дією кулонівських сил — їхня поведінка є наслідком дії *магнітних сил*.

А. Ампер був прихильником *теорії далекодії* і вважав, що магнітна взаємодія здійснюється миттєво крізь навколишній простір, причому останній не бере участі в цій взаємодії. Англійський фізик *Майкл Фарадей* (1791–1867) створив *теорію близькодії*, з точки зору якої взаємодія провідників зі струмом здійснюється з певною швидкістю *через магнітне поле*. Відповідно до цієї теорії, заряджені частинки, що напрямлено рухаються в кожному з двох провідників зі струмом, створюють у навколишньому просторі магнітне поле. Магнітне поле одного провідника діє на другий провідник і навпаки.

**Магнітне поле** — складова електромагнітного поля, що виявляється в дії на рухомі заряджені частинки (тіла) та створюється намагніченими тілами, змінним електричним полем і рухомими зарядженими частинками (тілами).

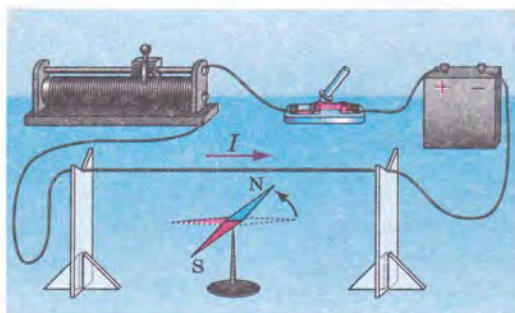


Рис. 18.1. Схема досліду Г. К. Ерстеда

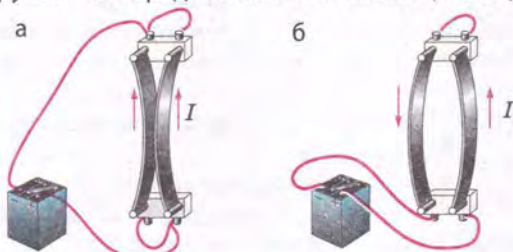


Рис. 18.2. Схема досліду А. Ампера. Якщо в двох паралельних провідниках течуть струми одного напрямку, ці провідники притягуються (а); якщо протилежних напрямків — відштовхуються (б)



## 2 Яка фізична величина є силовою характеристикою магнітного поля

З дослідів Ампера та визначення магнітного поля випливає, що магнітне поле чинить певну силову дію. Для введення силової характеристики магнітного поля згадаємо про силу Ампера.

Якщо прямий провідник, виготовлений із немагнітного матеріалу, підвісити на проводах між полюсами постійного магніту та пропустити по провіднику струм, то провідник відхилиться від початкового положення.

Причиною такого відхилення є сила, яка діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля, — *сила Ампера*  $\vec{F}_A$  (рис. 18.3).

Збільшуючи чи зменшуючи силу струму  $I$  в провіднику або довжину  $l$  *активної частини провідника* (частини, що перебуває в магнітному полі), можна переконатися, що сила Ампера прямо пропорційна і силі струму, і довжині активної частини провідника, отже, прямо пропорційна їх добутку:  $F_A \sim Il$ . Змінюючи кут між провідником і лініями магнітного поля, можна довести, що сила Ампера є максимальною ( $F_{A \max}$ ), якщо провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітного поля.

Оскільки  $F_{A \max} \sim Il$ , то для даної ділянки магнітного поля відношення  $\frac{F_{A \max}}{Il}$  не залежить ані від сили струму в провіднику, ані від довжини провідника, а залежить тільки від властивостей самого поля. Тому це відношення обрали за силову характеристику магнітного поля — вона одержала назву *магнітна індукція*.

**Магнітна індукція**  $\vec{B}$  — 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 ( $F_{A \max}$ ), до добутку сили струму  $I$  в провіднику на довжину  $l$  активної частини провідника:

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

Одиниця магнітної індукції в СІ — **тесла** (Тл)\*.

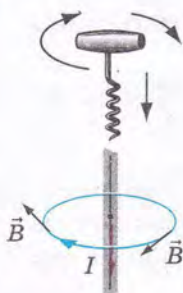
1 Тл — це індукція такого однорідного магнітного поля, яке діє з максимальною силою 1 Н на провідник завдовжки 1 м, по якому тече струм 1 А;  
 $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$



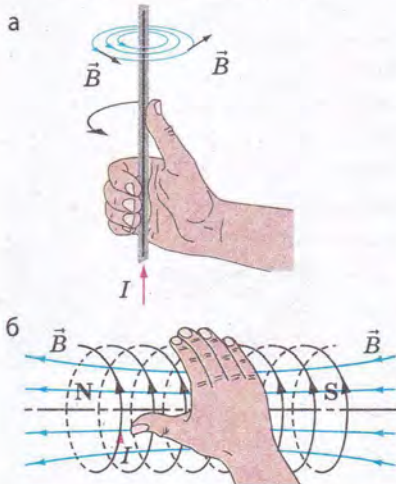
**Рис. 18.3.** Дослід, який демонструє дію магнітного поля на алюмінієвий провідник: а — у разі відсутності струму магнітне поле на провідник не діє; б — якщо по провіднику тече струм, провідник відхиляється внаслідок дії сили Ампера  $\vec{F}_A$

\* Названа на честь сербського фізика Ніколи Тесли (1856–1943).

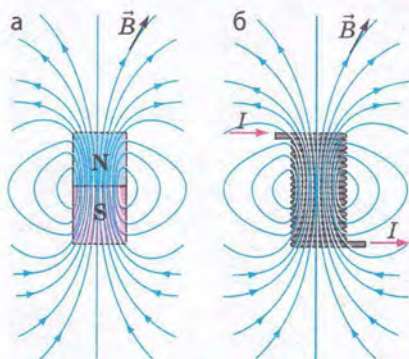




**Рис. 18.4.** Визначення напрямку вектора магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом за правилом свердлика



**Рис. 18.5.** Визначення напрямку вектора магнітного поля провідника зі струмом (а) і котушки зі струмом (б) за допомогою правил правої руки



**Рис. 18.6.** Лінії магнітної індукції магнітного поля штабового магніту (а) і котушки зі струмом (б)

### 3 Як визначити напрямок вектора магнітної індукції

Магнітна індукція — векторна величина, тому вона повністю визначена, якщо задані її значення та напрямок. За напрямок вектора магнітної індукції в даній точці магнітного поля обрано напрямок, у якому вказує північний кінець магнітної стрілки, встановленої в цій точці.

*Напрямок вектора магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом визначають за допомогою правила свердлика або правил правої руки.*

#### Правило свердлика:

Якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямок обертання ручки свердлика вкаже напрямок вектора магнітної індукції магнітного поля струму (рис. 18.4).

#### Правила правої руки:

Якщо спрямувати відігнутий великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок вектора магнітної індукції магнітного поля струму (рис. 18.5, а).

Якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий великий палець укаже напрямок вектора магнітної індукції магнітного поля всередині котушки (рис. 18.5, б).

### 4 Як графічно зображують магнітні поля

Магнітні поля графічно зображують за допомогою ліній магнітної індукції (ще їх називають лініями магнітного поля або магнітними лініями) (див. рис. 18.4–18.6).

**Лінії магнітної індукції** — умовні лінії, у кожній точці яких дотична збігається з лінією, вздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції.

Лінії магнітної індукції домовлено креслити так, щоб їхня густина відображала значення модуля магнітної індукції магнітного поля: чим більшим є модуль магнітної індукції, тим густіше креслять лінії.



Зверніть увагу: лінії магнітної індукції завжди замкнені: *магнітне поле — це вихрове поле*.

Дивлячись на лінії магнітної індукції постійного штабового магніту та котушки зі струмом (див. рис. 18.6), можна помітити, що вони ідентичні. Зверніть увагу: і котушка зі струмом, і постійний магніт мають два полюси. *Лінії магнітної індукції виходять із північного полюса котушки або магніту і входять у південний.*

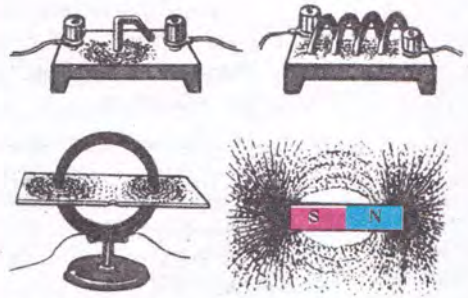


Рис. 18.7. Картини ліній магнітної індукції, отримані за допомогою залізних ошурок

Картину магнітних ліній можна побачити, скориставшись залізними ошурками (рис. 18.7). У магнітному полі кожен шматочок заліза намагнітиться та зорієнтується певним чином. Рисунок, створений ланцюжками ошурок, відтворить картину ліній магнітної індукції.

### 5 Яке поле називають однорідним

Магнітне поле називають *однорідним*, якщо в кожній його точці вектори магнітної індукції однакові.

Лінії магнітної індукції однорідного поля паралельні та розташовані на однаковій відстані одна від одної. Наприклад, *однорідним можна вважати* магнітне поле всередині *соленоїда\**, штабового магніту, між полюсами підковоподібного магніту.

На практиці частіше зустрічається *неоднорідне магнітне поле* — поле, вектори магнітної індукції якого мають різні значення та напрямки. Лінії магнітної індукції такого поля викривлені, і їхня густина є різною.

### ! Підбиваємо підсумки

Магнітне поле — це складова електромагнітного поля, яка виявляється в дії на рухомі заряджені частинки (тіла) та створюється намагніченими тілами, змінним електричним полем і рухомими зарядженими частинками (тілами).

Магнітна індукція  $\vec{B}$  — 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 ( $F_{A \max}$ ), до добутку сили струму  $I$  в провіднику на довжину  $l$  активної частини провідника:  $B = \frac{F_{A \max}}{Il}$ . Одиниця магнітної індукції в СІ — тесла;  $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Н/А} \cdot \text{м}$ .

Напрямок вектора магнітної індукції провідника зі струмом визначають за правилом свердлика та за правилами правої руки. Він збігається з напрямком, у якому вказує північний кінець магнітної стрілки.

\* Соленоїд — котушка, що має форму циліндра, довжина якого значно більша за діаметр.

Лінії магнітної індукції — умовні лінії, у кожній точці яких дотична збігається з лінією, уздовж якої напрямлений вектор магнітної індукції. Лінії магнітної індукції завжди замкнені — магнітне поле є вихровим.



## Контрольні запитання

1. У чому полягає дослід Г. К. Ерстеда?
2. Дайте визначення магнітного поля.
3. Опишіть дослід на підтвердження того, що в магнітному полі на провідник зі струмом діє сила.
4. Дайте визначення магнітної індукції. Якою є її одиниця в СІ?
5. Які є способи визначення напрямку вектора магнітної індукції?
6. Що називають лініями магнітної індукції?
7. Чому магнітне поле є вихровим?
8. Яке магнітне поле називають однорідним? неоднорідним? Наведіть приклади.



## Вправа № 16

1. Магнітне поле індукцією  $2,1 \text{ мТл}$  діє з максимальною силою  $0,3 \text{ мН}$  на провідник довжиною  $2 \text{ см}$ . Визначте силу струму в провіднику.
2. Укажіть напрямок вектора магнітної індукції в кожній точці, що позначена літерою (рис. 1).
3. Визначте полюси джерел струму (рис. 2).
- 4\*. Чи мають лінії магнітної індукції початок? кінець? Чи можуть вони перетинатись? дотикатись одна до одної? мати розрив? Відповідь поясніть.

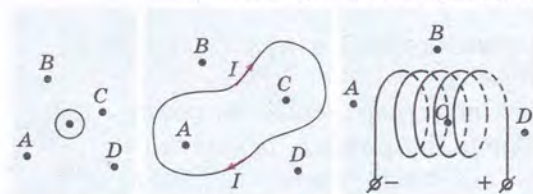


Рис. 1

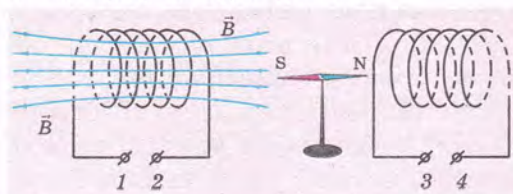


Рис. 2