

Тема 1. Магнетизм

Зміст

[1. Основні властивості магнітного поля](#)

[2. Закон Біо-Савара-Лапласа](#)

[3. Магнітні поля, створені кільцевим провідником, прямолінійним провідником, соленоїдом.](#)

1. ОСНОВНІ ВЛАСТИВОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Магнітне поле – одна із складових електромагнітного поля, яка діє на рухомі електричні заряди (на нерухомі заряди ця складова не діє), в тому числі і на провідники зі струмом, а також на намагнічені тіла незалежно від стану їх руху.

Джерелами магнітного поля є: 1) рухомі електричні заряди. 2) намагнічені тіла (магніти), 3) змінні в часі електричні поля.

Індукція магнітного поля

Силовою (основною кількісною) характеристикою магнітного поля є векторна фізична величина – **магнітна індукція \vec{B}** .

Напрямок вектору магнітної індукції встановлюється за результатом дії магнітного поля на: 1) провідник зі струмом; 2) магнітну стрілку; 3) заряджену частинку, що рухається в магнітному полі; 4) рамку зі струмом.

За напрямком вектору \vec{B} у даній точці магнітного поля приймається напрямок, вздовж якого розташовується позитивна нормаль \vec{n} вільної рамки зі струмом, вміщеної у цю точку поля. В цьому ж напрямку вказує і північний полюс магнітної стрілки, вміщеної в цю точку поля.

Напрямок вектору \vec{B} у даній точці збігається з дотичною в цій точці до лінії магнітної індукції.

Дослід показує, що на замкнутий контур (рамку) зі струмом у магнітному полі діє момент сили, величина якого прямо пропорційна силі струму I у контурі та його площі S і залежить від орієнтації контуру відносно напрямку вектору індукції \vec{B} магнітного поля. Модуль вектору магнітної індукції в будь-якій точці поля дорівнює відношенню максимального обертового моменту сили M_{\max} (який діє збоку магнітного поля на контур зі струмом коли його нормаль перпендикулярна до вектору магнітної індукції) до добутку сили струму I у контурі на його площу S

$$B = \frac{M_{\max}}{IS}.$$

Одиниця вимірювання магнітної індукції у СІ – тесла (Тл). Тесла – магнітна індукція такого однорідного магнітного поля, яке діє з силою 1 Н на кожний метр довжини прямолінійного провідника зі струмом, по якому протікає струм 1 А:
 $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \text{ кг с}^{-2} \text{ А}^{-1}$.

В ізотропних матеріальних середовищах, які перебувають у слабких магнітних полях, магнітна індукція \vec{B} зв'язана з напруженістю \vec{H} магнітного поля співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

де μ – магнітна проникність середовища; μ_0 – магнітна стала; добуток $\mu\mu_0$ називається абсолютною магнітною проникністю середовища.

Для вакууму $\mu = 1$, тому магнітна індукція у вакуумі дорівнює:

$$\vec{B}_0 = \mu_0\vec{H}.$$

Напруженість магнітного поля \vec{H} не залежить від магнітних властивостей середовища і вимірюється у СІ в А/м.

За своєю природою магнітне поле вихрове: його силові лінії завжди замкнуті.

Циркуляцією вектору напруженості магнітного поля \vec{H} вздовж довільного заданого замкнутого контуру називають криволінійний інтеграл по заданому контуру від скалярного добутку вектору \vec{H} на нескінченно малий елемент довжини контуру $d\vec{l}$.

Отже, за визначенням циркуляція Γ вектору напруженості магнітного поля \vec{H} запишеться у вигляді:

$$\Gamma = \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \oint_l H_l \cdot dl,$$

де $H_l = H \cdot \cos(\vec{H} \cdot d\vec{l})$ – проекція вектору \vec{H} на напрям $d\vec{l}$; l – замкнений контур, вздовж якого обчислюється циркуляція.

Якщо циркуляція вектору поля по довільному замкнутому контуру дорівнює нулю, то поле називається **потенціальним, або безвихровим** (прикладом таких полів є гравітаційне поле та електростатичне поле). Магнітне поле є **вихровим або соленоїдальним**.

Закон повного струму: циркуляція вектору напруженості \vec{H} магнітного поля по довільному замкнутому контуру дорівнює алгебраїчній сумі струмів, охоплених цим контуром, тобто результуючому електричному струму через поверхню, яка охоплена контуром довжиною l :

$$\oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{i=1}^N I_i = I,$$

де N – кількість струмів, охоплених контуром.

Принцип суперпозиції. З досліду випливає, що в будь-якій точці магнітного поля, створеного замкненим провідником зі струмом довільної форми, магнітна індукція \vec{B} залежить від форми провідника. Це означає, що в будь-якій точці поля магнітна індукція \vec{B} створюється кожною ділянкою цього провідника, тобто для магнітних полів виконується принцип суперпозиції:

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i.$$

Вектор магнітної індукції \vec{B} у будь-якій точці магнітного поля, створеного кількома джерелами, є векторною сумою векторів індукцій \vec{B}_i полів, створених у цій точці кожним окремим джерелом поля.

[Повернутися до переліку питань теми](#)

2. ЗАКОН БІО-САВАРА-ЛАПЛАСА

Цей закон визначає індукцію магнітного поля, що створюються у вакуумі малим елементом струму довжиною $d\vec{l}$, по якому протікає постійний електричний струм I :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^3} [d\vec{l} \times \vec{r}],$$

або у скалярній формі:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2},$$

де \vec{r} – радіус-вектор, проведений від елемента провідника зі струмом $d\vec{l}$ до точки A ; α – кут між векторами $d\vec{l}$ та \vec{r} ; вектор $d\vec{l}$ спрямований у напрямі протікання струму.

Рисунок 1. Індукція магнітного поля, що створюються малим елементом струму довжиною $d\vec{l}$, по якому протікає постійний електричний струм I .

Індукція магнітного поля $d\vec{B}$, створена елементом $d\vec{l}$ довільного провідника зі струмом, прямо пропорційна силі електричного струму I та довжині елемента

провідника $d\vec{l}$, обернено пропорційна квадрату відстані $r = |\vec{r}|$ до точки простору A , в якій визначається магнітна індукція, і залежить від орієнтації цього елемента $d\vec{l}$ в просторі (рисунок 1).

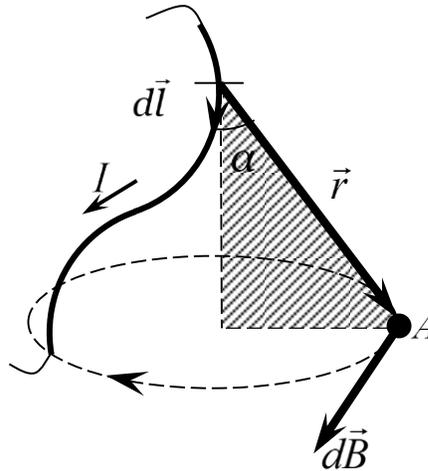


Рисунок 1. Індукція магнітного поля, що створюються малим елементом струму довжиною $d\vec{l}$, по якому протікає постійний електричний струм. I .

Напрямок вектору $d\vec{B}$ визначається за правилом правого гвинта, або для спостерігача, що знаходиться на вістрі вектору $d\vec{B}$ найменший кут повороту від вектору $d\vec{l}$ до вектору \vec{r} має місце проти годинникової стрілки.

[Повернутися до переліку питань теми](#)

3. МАГНІТНІ ПОЛЯ, СТВОРЕНІ КІЛЬЦЕВИМ ПРОВІДНИКОМ, ПРЯМОЛІНІЙНИМ ПРОВІДНИКОМ, СОЛЕНОЇДОМ.

Використовуючи закон Біо-Савара-Лапласа, шляхом інтегрування можна обчислити магнітну індукцію полів, створених будь-яким провідником з електричним струмом.

Магнітна індукція поля створеного нескінченним прямолінійним провідником зі струмом:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

де r_0 – найкоротша відстань від осі провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція.

Магнітна індукція поля, що створюється відрізком провідника зі струмом (рис. 2,а), визначається виразом:

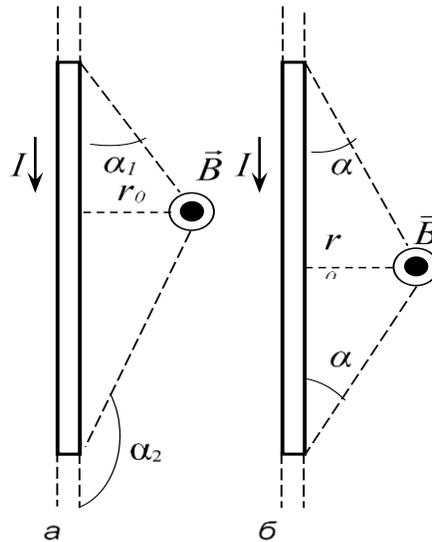


Рисунок 2. Магнітне поле, що створюється відрізком провідника зі струмом.

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Ця формула переходить у формулу для нескінченно довгого провідника, коли $\alpha_1=0$, а $\alpha_2 = \pi$.

Тут напрямок вектору магнітної індукції \vec{B} позначено крапкою. Це означає, що вектор \vec{B} направлений перпендикулярно до площини рисунка (у напрямку “до нас”). У випадку, коли вектор \vec{B} направлений перпендикулярно до площини рисунка, але в напрямку „від нас”, вектор \vec{B} позначаємо \otimes .

При симетричному розташуванні кінців провідника відносно точки, в якій визначається магнітна індукція (рис 2,б) будемо мати:

$$-\cos \alpha_2 = \cos \alpha_1 = \cos \alpha .$$

Тоді:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0} \cos\alpha.$$

Магнітна індукція в центрі колового провідника з струмом:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

де R – радіус колового витка зі струмом (рисунок 3).

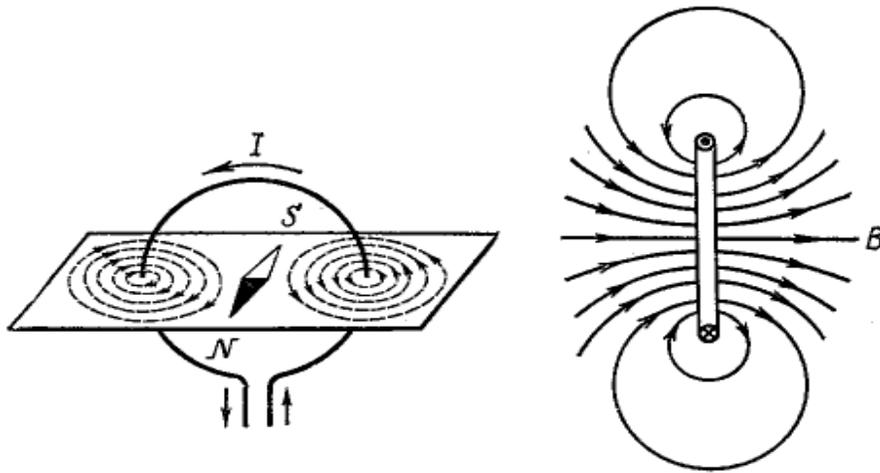


Рисунок 3. Магнітне поле, створене кільцевим струмом.

Магнітна індукція на осі колового струму:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

де h – відстань від центра витка до точки, в якій визначається магнітна індукція.

Магнітна індукція поля всередині соленоїда (довгої котушки зі струмом):

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

де $n = N/2\pi R$ – кількість витків на одиницю довжини соленоїда, N – загальна кількість витків у соленоїді, R – радіус витка.

[Повернутися до переліку питань теми](#)