

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІ-  
ШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Основи електрики та електроніки, електричні  
вимірювання та їх стандартизація»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 4 - Магнітне поле та магнітна індукція. Магнітна напруженість**

**Кременчук 2023**

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

## **СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного уні-  
верситету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

## **ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.

### **Рецензенти:**

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

### **План лекції:**

1. Закон Біо – Савара – Лапласа
2. Циркуляція вектора магнітної індукції.
3. Потік вектор індукції магнітного поля. Теорема Гауса

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Болюх В. Ф., Данько В. Г., Гончаров Є. В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Харків: Планета-Прінт, 2019. 248 с.
2. Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. Напівпровідникові прилади: Підручник. Київ: ІВЦ Видавництво “Політехніка”, 2003. 338 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В Курс загальної фізики. Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Кондор, 2016. 786 с.
4. Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І. Основи теорії кіл. Ч. 1. Харків : Компанія СМІТ, 2008. 432 с.
5. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум: навч. посіб. Київ: Каравела, 2004. 432 с.
6. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.

#### **Допоміжна:**

1. Андріяшик М. В., Вербицький Б. І., Король А.М. Курс фізики. Київ: Фламенко, 2008. 530 с.
2. Готра З. Ю., Лопатинський І. Є., Лукіянець Б. А., Микитюк З. М., Петрович І. В. Фізичні основи електронної техніки: Підручник. Львів: Видавництво “Бескид Бит”, 2004. 880 с.
3. Гумен Б. М., Гуржій А. М., Співак В. М. Основи теорії електричних кіл: у 3 кн. Київ: Вища шк., 2003.
4. Дмитрієва В. Ф. Фізика: Навч. посіб, Київ: Техніка, 2008. 648 с.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. <https://www.youtube.com/channel/UCWfhBu4fAt126ZbxREz3IBw>

### 1. Закон Біо – Савара – Лапласа

Між електричними зарядами має місце *електромагнітна взаємодія*. *Електрична взаємодія* залежить від положення зарядів і здійснюється за допомогою електричного поля. *Магнітна взаємодія* залежить від швидкості руху зарядів і здійснюється за допомогою магнітного поля. Електричне і магнітне поля є дві частини однієї й тієї ж фізичної реальності – електромагнітного поля.

*Нерухомі електричні заряди не створюють магнітного поля, і постійне магнітне поле не діє на нерухомі заряди.*

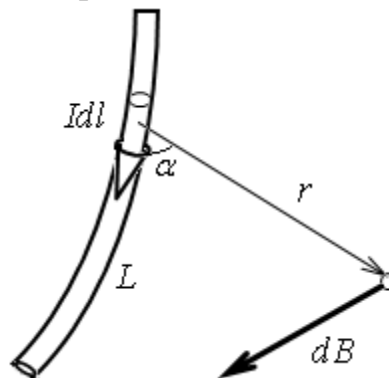


Рисунок 1

Магнітне поле має спрямований характер та є векторною величиною. Її називають *індукцією магнітного поля* або *магнітною індукцією* та позначають символом  $\vec{B}$ . Вираз індукції магнітного поля було встановлено експериментально.

Виділимо у провіднику зі струмом елементарний об'єм  $dV = Sdl$ , де  $S$  – площа поперечного перерізу провідника,  $dl$  – елемент довжини провідника, що збігається із напрямком вектора щільності струму у провіднику (рис. 4.1). Вектор  $Id\vec{l}$  називається елементом струму.

Індукція магнітного поля  $d\vec{B}$ , створюваного елементом струму  $Id\vec{l}$  у довільній точці  $M$ , визначається виразом

$$d\vec{B} = \mu_0 [Id\vec{l}, \vec{r}] / 4\pi r^3, \quad (1)$$

де  $\vec{r}$  – радіус-вектор, що задає положення точки  $M$  щодо елемента струму.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнітна постійна: Гн/м.

Вираз (1) зветься законом *Біо – Савара – Лапласа в диференціальній формі*.

Модуль  $d\vec{B}$  визначається виразом

$$dB = \mu_0 Idl \sin\alpha / 4\pi r^2. \quad (2)$$

Напрямок вектора  $d\vec{B}$  (напрямок магнітного поля) перпендикулярно до площини, в якій лежать вектори  $Id\vec{l}$  та  $\vec{r}$ .

Для магнітного поля, так само як і для електричного, справедливий принцип суперпозиції: індукція магнітного поля створюваного струмом, що тече в провіднику кінцевих розмірів і довільної форми:

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \mu_0 [Id\vec{l}, \vec{r}] / 4\pi r^3. \quad (3)$$

Вираз (1.4) зветься законом Біо – Савара – Лапласа в інтегральній формі.

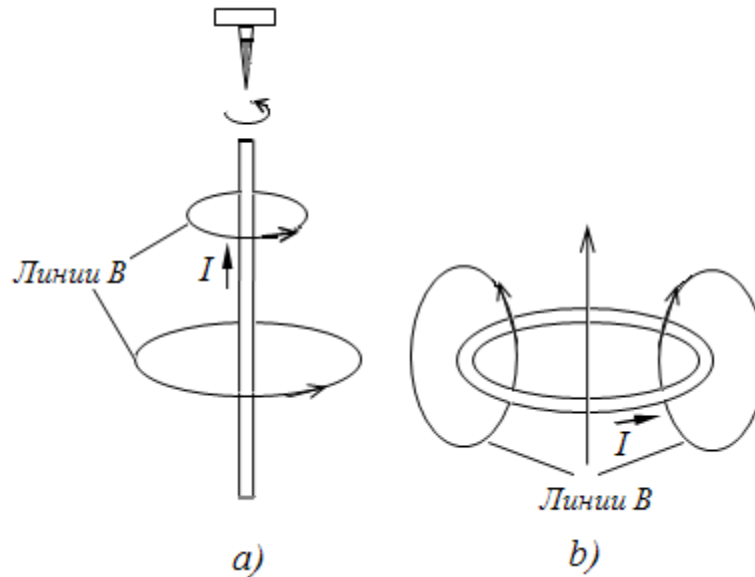


Рисунок 2

Магнітне поле може бути зображене графічно лініями  $\vec{B}$ . Лінія вектора  $\vec{B}$  (лінія магнітного поля) – лінія, проведена в магнітному полі так, що вектор  $\vec{B}$  у кожній її точці направлений по дотичній до неї. Лінії магнітної індукції приписується напрямок, що збігається з напрямком вектора  $\vec{B}$ . Лінії магнітної індукції завжди замкнуті навколо струмів, що створюють магнітне поле, і пов'язані з напрямком останніх правилом правого свердла: якщо поступальний рух свердла збігається з напрямком струму, то обертання рукоятки свердла вказує напрямок ліній поля (рис. 2 а); у разі кільцевого струму обертання рукоятки буравчика зручніше поєднати з напрямком струму, тоді поступальний рух буравчика вкаже напрямок поля в точках, що лежать у площині струму (усередині кільця), як показано на рис. 2 б.

Магнітне поле називається однорідним, якщо вектор  $\vec{B}$  однаковий у всіх його точках.

Магнітне поле прямолінійного струму

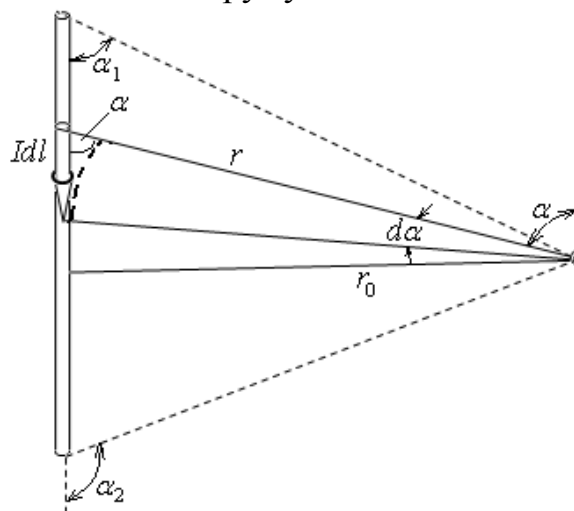


Рисунок 3

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

де  $I$  – струм у провіднику;  $r_0$  – найкоротша відстань від провідника до точки  $A$ , де визначається  $\vec{B}$ ;  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – кути між радіусами-векторами, проведеними від кінців провідника до точки  $A$ , та напрямом струму у провіднику (рис. 4.3).

Для нескінченно довгого дроту  $\alpha_1 = 0$ ,  $\alpha_2 = \pi$ . Отже:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_0}. \quad (4)$$

## 2. Циркуляція вектора магнітної індукції.

Циркуляція вектора індукції магнітного поля, створеного у вакуумі постійним електричним струмом, дорівнює добутку магнітної постійної  $\mu_0$  на алгебраїчну суму всіх макроскопічних струмів, що охоплюються контуром інтегрування.

Якщо контур обходу охоплює  $n$  струмів, то

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^n I_i, \quad (5)$$

де  $\sum_{i=1}^n I_i$  – повний струм, що охоплюється контуром обходу  $L$ .

У разі довільного розподілу струмів у просторі повний струм виражається через щільність струму  $\vec{j}$ :  $I = \int_S \vec{j} d\vec{S}$ , де  $S$  – будь-яка поверхня, що спирається на контур, по якому береться циркуляція.

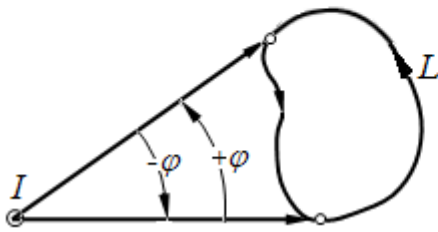


Рисунок 4

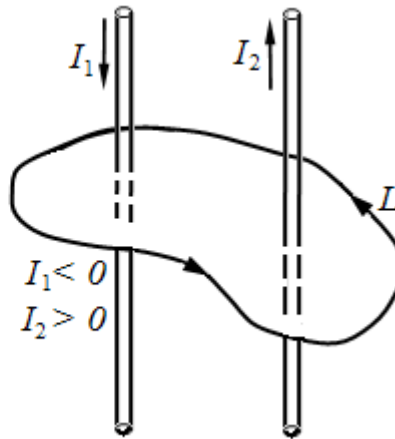


Рисунок 5

Якщо контур обходу не охоплює струм (рис. 4.4), то циркуляція магнітної індукції дорівнює нулю.

Струм вважається позитивним, якщо його напрямок пов'язаний з напрямком обходу по контуру  $L$  правилом правого буравчика; струм протилежного напрямку вважається від'ємним (рис. 5).

Поле, для якого циркуляція відмінна від нуля, називається вихровим або соленоїдальним. Отже магнітне поле на відміну електростатичного (безвихрове, потенційне) є вихровим і не є потенційним полем.

Теорема про циркуляцію вектора  $\vec{B}$  має у магнетизмі таке саме значення, як і теорема Гауса в електростатиці.

### 3. Потік вектор індукції магнітного поля. Теорема Гауса

Магнітний потік через поверхню  $S$  кінцевих розмірів та довільної форми буде

$$\Phi_B = \int \vec{B} d\vec{S}. \quad (6)$$

Зокрема, якщо магнітне поле однорідне ( $B = \text{const}$ ), а поверхня  $S$  плоска, то

$$\Phi_B = BS \cos \alpha. \quad (7)$$

На відміну від електричних у природі немає магнітних зарядів, тому лінії магнітної індукції не мають ні початку, ні кінця – вони або замкнуті, або йдуть у нескінченність. У разі замкнутої поверхні кількість вхідних ліній вектора індукції має дорівнювати кількості вихідних. Тому *потік  $\Phi_B$  вектора  $\vec{B}$  через замкнуту поверхню  $S$  дорівнює нулю – це теорема Гауса:*

$$\Phi_B = \oint \vec{B} d\vec{S} = \oint B_n dS = 0. \quad (8)$$

Порівняємо потік та циркуляцію електростатичного та магнітного полів у вакуумі. Згідно з відомими теоремами про циркуляцію та потік вектора напруженості електричного поля  $\vec{E}$  та формул (4.5) та (4.8)

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = 0; \quad \oint \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \Sigma q_i;$$

$$\oint \vec{B} d\vec{S} = 0; \quad \oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \Sigma I_i.$$

Зіставлення формул показує, що електростатичне та магнітне поля мають різний характер. Джерелами електростатичного поля є заряди  $q$ . Магнітне поле немає джерел. Циркуляція напруженості електростатичного поля дорівнює нулю, отже, електростатичне поле є потенційним і може бути охарактеризовано потенціалом  $\phi$ . Циркуляція вектора магнітної індукції не дорівнює нулю, тому магнітне поле не є потенційним і йому не можна приписати скалярний потенціал  $\phi$ .